

Efecto del espaciamiento de los entre surcos de trigo, de la cobertura del suelo y de la intersiembra con sorgo granífero, sobre la producción y el aprovechamiento del agua del sistema.

Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,

Área de Ciencias Agropecuarias – Producción Vegetal

Fernando Miguel Scaramuzza.

Ingeniero Agrónomo – Universidad Nacional de Córdoba FCA – 2002

Lugar de trabajo: Estación Experimental Agropecuaria - INTA Manfredi



FAUBA

Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



COMITÉ CONSEJERO

DIRECTOR: Pablo Eduardo ABBATE

**Ingeniero Agrónomo Universidad de Buenos Aires
Magister Scientiae en Producción Vegetal. FCA, UNMDP
Doctor en Ciencias Agrarias. FCA, UNMDP**

CONSEJERO: Marcelo Gabriel CANTARERO

**Ingeniero Agrónomo Universidad Nacional de Córdoba FCA
Magister Scientiae en Producción Vegetal. FCA, UNMDP**

CONSEJERO: Julio Luis DARDANELLI

**Ingeniero Agrónomo Universidad de Buenos Aires
Magister Scientiae en Producción Vegetal. FCA, UNMDP
Periodo noviembre de 2010 a abril de 2012**

JURADO DE TESIS

Presidente: Gustavo Angel Maddonni

Ingeniero Agrónomo Universidad de Buenos Aires

Magister Scientiae en Producción Vegetal. Escuela para Graduados (FA-UBA)

Doctor en Ciencias Agropecuarias. Escuela para Graduados (FA-UBA)

Miembro: Román A. Serrago

Ingeniero Agrónomo Universidad de Buenos Aires

Doctor en Ciencias Agropecuarias. Escuela para Graduados (FA-UBA)

Miembro:

Título Profesional

Título Académico

Fecha de defensa de tesis: 25 de Noviembre 2015.

Dedicada a mis padres: Alicia y Omar,
A mi hermana Marcela
A mi hija Lucía

AGRADECIMIENTOS

A Pablo Eduardo Abbate, mi director, por la confianza que tuvo en mí, y por el esfuerzo y las ganas que me contagió día a día para seguir adelante. A Julio Luis Dardanelli y Marcelo Gabriel Cantarero, mis consejeros, por su amistad, asistencia y apoyo que me brindaron desde el primer momento.

A Mario Alberto Bragachini, director de beca y coordinador del Proyecto Agricultura de Precisión y Máquinas Precisas, de la EEA INTA Manfredi, por su confianza y sus gestiones para asegurarme el bienestar laboral.

Al grupo de trabajo de la EEA INTA Manfredi: Andrés, Juan Pablo, Diego, José, Fernando, Federico, Víctor, Mauro, Esteban, María, Claudio y Mauricio, por su colaboración en diferentes tareas que permitieron agilizar las mías en la oficina y por su paciencia, y en especial a Víctor, Claudio, Adrian, Román y Javier, por su invalorable y desinteresada colaboración a campo y ayuda para realizar las mediciones con sonda de neutrones.

Al personal de campo de la EEA INTA Manfredi José Luis, José, Carlos y Luis, compañeros en los trabajos de campo, por su invalorable colaboración con las tareas de siembra y pulverización, y por ser excelentes personas y amigos.

A Julio Di Rienzo, por su tiempo invertido y su buena predisposición para realizar los análisis estadísticos requeridos.

A Laura Giorda, por su tiempo invertido y su predisposición para brindarme sus conocimientos en el cultivo de sorgo y por cederme tan gentilmente la semilla para dicho ensayo. A Federico Piatti, por cederme la sembradora de parcelas para la implantación del cultivo de sorgo.

Agradecimiento a Dra Laura Lázaro, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Prov. Bs. As., por las sugerencias brindadas a cerca del síndrome de huida de la luz.

A Celeste Gregoret, Alejandra Kemerer, Carolina Pérez Brandan, Ignacio Severina, Juan Enrrico y Josefina Diez, los grandes amigos que me brindó la EPG, por su compañía durante mis estudios, que constituyen hoy hermosos recuerdos. A los compañeros de los cursos, por los momentos compartidos y docentes y personal de la

EPG, por su predisposición para favorecer mi formación y bienestar en el transcurso de mis estudios.

A Verónica Gatti por gestionarme en la empresa Nidera la semilla requerida para este ensayo.

A mi hija Lucia, por su amor ofrecido en todo momento y por soportar la distancia a su corta edad.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Hipótesis	4
1.2.	Objetivos	5
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
2.1.	Descripción general	6
2.2.	Condiciones del cultivo	6
2.3.	Tratamientos y diseño experimental	7
2.4.	Mediciones	8
2.4.1.	Cobertura de rastrojo.....	8
2.4.2.	Evaporación de agua desde el suelo.....	8
2.4.3.	Consumo de agua por el cultivo.....	9
2.4.4.	Intercepción de la radiación por el cultivo.....	10
2.4.5.	Biomasa, índice de cosecha y rendimiento en grano	11
2.4.6.	Equivalente de uso de la tierra	12
2.4.7.	Aporte de rastrojo y de biomasa al suelo	12
2.4.8.	Eficiencia de uso de agua.....	13
2.4.1.	Eficiencia de uso de la radiación.....	13
2.4.2.	Margen Bruto	14
2.4.3.	Frecuencia de precipitaciones	14
2.4.4.	Análisis estadísticos	14
3.	RESULTADOS	15
3.1.	Características climáticas de las campañas.....	15
3.2.	Rendimiento y sus componentes.....	15
3.2.1.	Trigo	16
3.2.2.	Sorgo	21
3.2.3.	Sistema sorgo intersembrado en trigo	21
3.3.	Variaciones del índice de cosecha	22
3.4.	Producción de peso seco del cultivo	23
3.4.1.	Trigo	23
3.4.2.	Sistemas trigo puro, sorgo puro y sorgo intersembrado en trigo ...	23
3.5.	Aporte de rastrojo y de biomasa al suelo	25

3.5.1.	Sistemas trigo puro, sorgo puro y sorgo intersembrado en trigo ...	25
3.6.	Economía del agua.....	26
3.6.1.	Consumo de agua, evaporación y transpiración.....	26
3.6.1.	Eficiencia de uso del agua.....	30
3.7.	Economía de la radiación.....	32
3.8.	Margen Bruto.....	37
3.8.1.	Trigo.....	37
3.8.2.	Sorgo.....	37
3.8.3.	Sistemas trigo, sorgo y sorgo intersembrado en trigo.....	38
4.	DISCUSIÓN.....	40
4.1.	Frecuencia de lluvias de Manfredi.....	40
4.1.1.	Durante el cultivo de trigo.....	40
4.1.2.	Durante el cultivo de sorgo.....	41
4.2.	Rendimiento en grano.....	41
4.3.	Peso seco del cultivo y producción de rastrojo.....	45
4.4.	Margen Bruto.....	45
4.5.	Economía del agua.....	47
4.6.	Economía de la radiación.....	49
5.	CONCLUSIONES.....	51
5.1.	Aportes logrados.....	51
5.2.	Lineamientos a futuro.....	52
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos analíticos del perfil típico de un suelo Haplustol Típico de la serie Oncativo, Manfredi, Córdoba, Argentina.	6
Tabla 2. Precipitaciones mensuales históricas (promedio 1931 a 2010) y precipitaciones mensuales para las campañas 2008/09 y 2009/10, de la Estación Meteorológica de INTA Manfredi, Córdoba, Argentina.	15
Tabla 3. Efecto del espaciamiento de los surcos y la cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, sobre el rendimiento por unidad de superficie (RTO), el número de granos m^{-2} (NG) y el peso por grano (PG), para los cultivos de trigo, sorgo y el sistema sorgo intersembrado en trigo, en Manfredi, Córdoba, para las campañas 2008/09 y 2009/10. Cada valor representa la media de tres repeticiones.	20
Tabla 4. Rendimiento de los cultivos puros y en el sistema de sorgo intersembrado en trigo ($tn\ ha^{-1}$), y el equivalente de uso de la tierra (EUT) resultante (\pm error estándar de la media), en Manfredi, Córdoba, para las campañas 2008/09 y 2009/10. Cada valor representa la media de tres repeticiones (las MDS para rendimiento se presentan en la Tabla 3).	21
Tabla 5. Efecto del espaciamiento de los surcos y la cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, sobre el peso seco total producido a madurez por unidad de superficie (PST), el índice de cosecha (IC), peso seco de rastrojo (PSR) y para los cultivos de trigo, sorgo y el sistema sorgo intersembrado en trigo, en Manfredi, Córdoba, para las campañas 2008/09 y 2009/10. Cada valor representa la media de tres repeticiones.	24
Tabla 6. Efecto del espaciamiento de los surcos, la cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, sobre el margen bruto (MB) expresado en dólares americanos constantes (US\$ ha^{-1}) para los cultivos de trigo, sorgo y el sistema sorgo intersembrado en trigo, en Manfredi, Córdoba, para las campañas 2008/09 y 2009/10. Cada valor representa la media de tres repeticiones.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación de la barra del ceptómetro según espaciamiento entre surcos: (a) 70 cm, (b) 35 cm y (c) 17 cm.	10
Fig. 2. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y, la cobertura de rastrojo a la siembra (simple y doble), con (r) y sin (s) riego, sobre el rendimiento en grano por unidad lineal de surco. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.	17
Fig. 3. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre el peso seco de trigo a macollaje por unidad longitudinal de surco. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.....	18
Fig. 4. Relación entre el peso seco del grano y el peso seco total del cultivo a madurez para trigo a través de tres espaciamiento de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo, con y sin riego, y sorgo puro o intersembrado en trigo, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. El término independiente de las relaciones solo fue significativo en sorgo.	18
Fig. 5. Relación entre el rendimiento y el número de granos m ⁻² para trigo a través de tres espaciamiento de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo, con y sin riego, y sorgo puro o intersembrado en trigo, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. La pendiente y el término independiente de las relaciones varió entre años.....	19
Fig. 6. Relación entre el peso seco del rastrojo y el peso seco total del cultivo a madurez para trigo a través de tres espaciamiento de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo, con y sin riego, y sorgo puro o intersembrado en trigo, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. El término independiente de las relaciones no fue significativo.	25
Fig. 7. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre la cantidad de agua consumida hasta madurez por unidad longitudinal de surco. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.	28
Fig. 8. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (DR), con (r) y sin (s) riego, sobre el consumo de agua acumulado desde emergencia hasta madurez en el cultivo trigo. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.	28
Fig. 9. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra (simple y doble), con (r) y sin (s) riego, sobre el consumo de agua en el entresurco acumulado desde emergencia hasta madurez en el cultivo trigo. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en	

Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.....	29
Fig. 10. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego sobre la cantidad de agua evaporada acumulada desde emergencia hasta madurez en el cultivo trigo, Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.....	29
Fig. 11. Consumo de agua desde emergencia hasta madurez en el cultivo de sorgo puro y sorgo intersembrado en trigo, para las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS para comparar tratamientos dentro de un mismo año: 6 mm para la campaña 2008/09 y 28 mm para la campaña 2009/10.....	30
Fig. 12. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre la eficiencia de uso del agua consumida para producir peso seco en trigo. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.....	31
Fig. 13. Relación entre la eficiencia de uso de agua del peso seco total y el peso seco total del cultivo a madurez para trigo a través de tres espaciamientos de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo, con y sin riego, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. Los cuadrados negros corresponden a los datos de secano de ambas campañas y los cuadrados blancos corresponden a los datos de riego para ambas campañas.....	31
Fig. 14. Eficiencia en el uso del agua consumida (EUA _c) para producir peso seco, hasta madurez con sorgo puro y sorgo intersembrado en trigo, para ambas campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS para comparar tratamientos dentro de un mismo año: 24 kg/mm para la campaña 2008/09, diferencias no significativas para la campaña 2009/10.....	32
Fig. 15. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo de trigo. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.....	33
Fig. 16. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre el índice de área verde (IAV) de trigo al inicio del llenado del grano. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.....	34
Fig. 17. Relación entre peso seco total del cultivo de trigo a madurez para trigo a través de tres espaciamientos de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, y la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba.....	35
Fig. 18. Relación entre peso seco total del cultivo a madurez para trigo a través de tres espaciamientos de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, y la eficiencia de uso de la radiación para producir peso seco, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba.....	35

Fig. 19. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra (simple y doble), con (r) y sin (s) riego en trigo, sobre la eficiencia de uso de la radiación para producir peso seco, hasta madurez. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.....	36
Fig. 20. Relación entre la eficiencia de uso de la radiación del cultivo para producir peso seco, y la radiación fotosintéticamente activa incidente por unidad de superficie de área verde, a través de tres espaciamientos de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo a la siembra, con (r) y sin (s) riego, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba.	37
Fig. 21. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) de trigo y la interseembra de sorgo sobre el margen bruto de cada sistema (datos promedio de dos niveles de cobertura de rastrojo). Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, Manfredi, Córdoba. Las mínimas diferencias significativas se presentan en la Tabla 6.	38
Fig. 22. Respuesta encontrada por diferentes autores en rendimiento de grano de trigo al variar el espaciar los surcos de siembra.....	42
Fig. 23. Relación entre la caída de rendimiento por unidad de aumento en el espaciamiento de los surcos de siembra, en función del rendimiento obtenido con el menor espaciamiento, construida a partir de los datos de la Fig. 22.	43

ABREVIATURAS USADAS

<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>
ANVA	Análisis de Varianza.
C	Consumo de agua (mm ó mm d ⁻¹).
DDS	Días desde siembra.
E	Agua evaporada (mm)
EUA	Eficiencia en el uso de agua (kg mm ⁻¹).
EUA _c	Eficiencia en el uso de agua consumida (mm).
EUA _t	Eficiencia en el uso de agua transpirada (mm).
EUR	Eficiencia del uso de la radiación (g MJ ⁻¹).
EUT	Equivalente uso de la tierra.
H	Humedad (%).
IAV	Índice de área verde [m ² área verde (m ² suelo) ⁻¹]
IC	Índice de cosecha [kg grano (kg planta) ⁻¹].
MDS	Mínima diferencia significativa.
N	Nitrógeno
NG	Número de grano.
ns	No significativo.
P	Fósforo
PE	Precipitación Efectiva
PG	Peso por grano (mg).
PP	Precipitación real (mm).
PSR	Peso seco del rastrojo (tn ha ⁻¹)
PST	Peso seco total aéreo (g m ⁻²).
RFA	Radiación fotosintéticamente activa (MJ m ⁻² d ⁻¹).
RFA ₀	Radiación fotosintéticamente activa incidente (MJ m ⁻² d ⁻¹).
RFA _i	Radiación fotosintéticamente activa interceptada (MJ m ⁻² d ⁻¹).
RTO	Rendimiento en grano (tn ha ⁻¹)
SD	Siembra directa.
T	Agua transpirada (mm)
TCC	Tasa de crecimiento de cultivo (g m ⁻² d ⁻¹).
VA	Variación de almacenaje (mm).

“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra Institución”

RESUMEN

En un cultivo de trigo creciendo en zona semiárida, la práctica de incrementar el espaciamiento entre surcos en siembra directa, manteniendo el entresurco con altos niveles de cobertura de rastrojo y libre de malezas, podría disminuir el consumo temprano de agua, dejando más agua disponible para ser utilizada en las etapas reproductivas. A su vez, la siembra de trigo con surcos espaciados es compatible con la interseembra de sorgo, dada su alta tolerancia a la oferta hídrica limitada. El sistema trigo-sorgo podría generar mayor producción de grano y rastrojo, elevando el margen bruto, respecto del cultivo de trigo puro. Para ello en Manfredi se condujeron dos experimentos en parcelas divididas, donde las parcelas principales fueron: secano con “rastrojo simple”, secano con “rastrojo doble”, y riego con “rastrojo simple”, y las subparcelas fueron trigo con: surcos espaciados a 17 cm, 35 cm y 70 cm con sorgo intersembrado. Se realizaron determinaciones de la evaporación utilizando microlisímetros, el contenido volumétrico de agua del suelo con sonda de neutrones, la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) con ceptómetro, el rendimiento (RTO) y la producción de rastrojo (PR). Se pudo comprobar que con mayores espaciamientos se redujo el consumo de agua; sin embargo, parte del agua transferida quedó como remanente sin ser consumida por el cultivo. El RTO, la PR y el margen bruto del cultivo de trigo disminuyó al aumentar el espaciamiento; el aumento de la cobertura de rastrojo resultó poco ventajoso. A través de todos los tratamientos el RTO de trigo se asoció con el peso seco del cultivo y este con la RFAi. El sistema trigo-sorgo permitió aumentar el RTO, la PR y el margen bruto en un ambiente semiárido.

Palabras clave: interseembra, distancia entre surcos, trigo, sorgo, rastrojo, margen bruto.

ABSTRACT

In the production of wheat in the semi-arid zone of Argentina, increase the separation between rows in direct planting, and maintain the space between rows with high residue cover and weed free, can be a tool to reduce water consumption at early stages of development and allow more water available for reproductive stages. This practice is also compatible with sorghum planting in the space between rows, due to its high tolerance of it to low supply of water. Both crops can produce higher grain and stover, and increased profitability, than the production of only one of them. For test this, two experiments were realized in split plots format, where the main plots were dryland with "simple stubble", dryland with "double stubble" and under irrigation with "simple stubble". The subplots used were: 17 cm between rows, 35 cm and 70 cm between wheat rows with sorghum sown in the space between rows. Evaporation was determined by the use of microlysimeter, the volumetric content of soil water was determined using a neutrons probe, photosynthetically active intercepted radiation (RFAi) with a ceptometer, the yield (RTO) and stubble production (PR). The results showed that with larger spacings water consumption is reduced; however, part of the water was transferred as surplus without being consumed by the crop. The wheat's RTO, PR and profitability decreased with larger spacing between rows; the increase in coverage with stubble, did not produce as many benefits as expected. In all treatments the RTO wheat was associated with the dry weight of the crop and its RFAi. The production of both crops in combination can increase the RTO, the crop dry weight and profitability in a semiarid environment.

Keywords: intercropping, row spacing, wheat, sorghum stubble, profitability.

1. INTRODUCCIÓN

La región semiárida central de Córdoba se caracteriza por presentar un clima monzónico, con un promedio de precipitaciones anuales de 760 ± 179 mm (serie 1931-2009, estación meteorológica INTA-EEA Manfredi), de las cuales el 22 % ocurre en el período del 1 de mayo al 31 de octubre. Para el mismo periodo la diferencia entre las precipitaciones y la evapotranspiración potencial Penman-FAO (Doorenbos and Kassam, 1979) presenta un déficit hídrico de 448 mm (serie 1960-1994). En esta región el cultivo de trigo tiene dos importantes limitaciones ambientales para expresar su potencial de rendimiento: (1) la disponibilidad de agua y (2) la alta temperaturas durante el período de espigazón y llenado de granos (Cantarero *et al.*, 1998; Salinas *et al.*, 2007). El agua acumulada durante el periodo comprendido entre marzo y mayo en el perfil del suelo está altamente asociada al rendimiento de trigo (Cantarero *et al.*, 1998; Salinas *et al.*, 2007). Por otra parte la elección de un genotipo con determinada duración del ciclo y la fecha de siembra son prácticas de manejo que pueden ser utilizadas para evitar la incidencia negativa de altas temperaturas (Fischer, 1984).

Las deficiencias hídricas reducen la intercepción de radiación solar (Gallagher y Biscoe, 1978; Robertson y Giunta, 1994) a través de una menor expansión foliar, una menor exposición de la superficie foliar (i.e.: enrulamiento de las hojas), o por senescencia de hojas. Además, un estrés hídrico puede reducir el crecimiento del cultivo como consecuencia de una menor tasa de fotosíntesis (Subrahmanyam *et al.*, 2006) y una menor eficiencia en el uso de la radiación (Gallagher y Biscoe, 1978; Robertson y Giunta, 1994; Abbate *et al.*, 1997). Según Caviglia y Sadras (2001), en las condiciones de secano de Paraná, las diferencias encontradas en la eficiencia de uso del agua (EUA) fueron explicadas en un 60% por las variaciones en la eficiencia del uso de la radiación (EUR). Se desprende entonces que cambios en la disponibilidad hídrica pueden afectar la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), y en consecuencia, la acumulación del peso seco (PST).

En el cultivo de trigo, la etapa crítica para la determinación del rendimiento es el período comprendido entre 20 días previos y 10 días después de antesis; en esta fase se define el número de granos por unidad de superficie, que es el principal componente del rendimiento (Fisher, 1984, 1985 y Abbate *et al.*, 1995, 1997). La TCC durante esta etapa está estrechamente relacionada con la cantidad de fotosintatos que son asignados a las

espigas para la determinación del número de granos. Una reducción del estrés hídrico permitiría mejorar la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y la eficiencia con que esa radiación es usada (Gallagher y Biscoe, 1978; Robertson y Giunta, 1994; Abbate *et al.*, 1997).

La secuencia trigo-soja de segunda ha permitido aumentar el ingreso económico de los establecimientos agrícolas, pero también incrementó la pérdida de materia orgánica del suelo. Estudios realizados por Michelena *et al.* (1989) mostraron que los niveles de materia orgánica disminuyeron progresivamente con el uso agrícola convencional, registrándose en promedio 3,2% en suelos con rotación agrícola-ganadera y sólo 2,7% en suelos sometidos a agricultura continua por períodos de más de 20 años.

Para mejorar tanto la eficiencia de captura, como la EUR y la EUA, se pueden utilizar algunas prácticas de manejo del suelo y del cultivo, entre ellas el sistema de labranza (i.e. la utilización de la siembra directa, SD), la elección del ciclo del cultivar y la estructura del cultivo (densidad y espaciamiento entre hileras). La práctica de incrementar el espaciamiento entre surcos de trigo manteniendo el entresurco libre de malezas y con altos niveles de cobertura de rastrojo podría disminuir las pérdidas de agua del suelo por evaporación, dejando más agua disponible en el perfil para ser utilizada en las etapas críticas para la determinación del rendimiento. Esto podría implementarse actualmente gracias a la disponibilidad de herbicidas de alta residualidad para trigo en sistemas bajo SD; p.ej. Clopiralid (Lontrel), Dicamba + Prosulfuron + Triasulfuron (Peak pack), Aminopyralid + Metsulfuron metil (Tronador Max), etc. Studdert (2001) señala que las ventajas fundamentales de los sistemas de labranza conservacionistas son proporcionales al grado de cobertura y al espesor de la cubierta de rastrojos y que la presencia del rastrojo ejerce una protección directa al suelo contra la erosión. Este efecto puede ser particularmente importante en el área semiárida de Córdoba, ya que tiene suelos con pendientes entre 0,5% y 2,0%, con elevada cantidad de limo, donde los procesos erosivos por acción del agua son intensos y generalizados (Gorgas *et al.*, 2003) y en algunas épocas del año, recibe precipitaciones de alta intensidad provocando encostramientos e importantes pérdidas por escurrimiento superficial. Por otro lado, la cobertura de rastrojos constituye una barrera que reduce la tasa de evaporación del agua desde el suelo. Según Allen *et al.* (1998), la evaporación se reduce 5% por cada 10% de incremento de cobertura del suelo por rastrojo. Con mayor cantidad de rastrojo y menor laboreo del suelo habrá mejores condiciones para la conservación del agua. En

experimentos realizados en Manfredi (Dardanelli *et al.*, 1994) con una sucesión bianual sorgo-soja, el menor ritmo de evaporación de la fase II (Ritchie, 1972) en el suelo con labranza reducida disminuyó en 20 mm la evaporación del suelo acumulada a los 40 días de iniciada esta fase. Esta menor evaporación provoca un incremento en el agua útil que puede tener influencia sobre la productividad del cultivo. Existen evidencias de la ventaja de espaciar los surcos en otros ambientes y/o en otros cultivos. En el cinturón triguero norte de Australia Occidental, Blackwell *et al.* (2006) reportaron que el trigo con entresurcos más espaciados (60 cm respecto a 30 cm) tuvo mayores rendimientos en suelos poco profundos, debido al diferimiento en la utilización de agua del suelo, lo que produjo menor estrés del cultivo durante la etapa crítica del cultivo. En lupino, French y Harries (2006) encontraron incrementos de rendimiento debido al mayor espaciamiento entre líneas (100 cm con respecto a 50 y 25 cm entre líneas), atribuibles a un diferimiento en el consumo del agua hacia el período de llenado del grano. Por otro lado, también existen evidencias sobre la disminución del rendimiento de trigo al aumentar el espaciamiento entre surcos (Buck *et al.*, 2006; Álvarez Prado, 2009). Resulta importante notar que ninguno de los trabajos en que se evaluó el espaciamiento, fue realizado bajo SD.

Si a través del incremento del espaciamiento entre surcos de trigo se logra un aumento de rendimiento, la ventaja del sistema es evidente. Por otra parte, si tal aumento de rendimiento no se diera, pero con el aumento del espaciamiento el rendimiento resulta poco deprimido, se podría aprovechar el entresurco disponible para realizar la interseembra de un cultivo de verano en lugar de sembrarlo como cultivo de segunda. Los cultivos de segunda sembrados después de trigo tienen menor rendimiento potencial respecto a su fecha de siembra óptima (Ross, 2004). En efecto, cultivos en siembras tempranas generalmente exploran mejores ambientes fototermales y, consecuentemente, presentan mayores rendimientos potenciales (Otegui y López Pereira, 2003). Entre los posibles cultivos de verano para realizar interseembra en la zona semiárida de Córdoba, se encuentra el sorgo, que respecto del maíz (Farre y Faci, 2006), en condiciones de limitada oferta hídrica tiene mayor capacidad de absorber agua de capas más profundas del suelo y los rendimientos más altos, debido a una mayor acumulación de biomasa aérea, mayor índice de cosecha e incremento en la EUA. Estos resultados sugieren que el sorgo podría ser una mejor alternativa que el maíz bajo condiciones limitantes de oferta de agua. La interseembra de sorgo permitiría adelantar su fecha de siembra respecto a un

cultivo de segunda y por lo tanto a su vez podría capturar mayor cantidad de radiación bajo temperaturas óptimas, lo que le permitiría generar mayor rendimiento.

El uso de los policultivos, puede producir, a través de la biodiversidad, numerosos beneficios en el agro ecosistema, tales como una menor fragilidad ecológica, una menor dependencia de insumos o una mayor estabilidad de los sistemas. La mayor diversidad biológica de los policultivos también se asocia a un menor riesgo económico, una mejora en la oferta nutricional, un mejor uso de los recursos y un mejor comportamiento frente a plagas, enfermedades y malezas (Sarandón y Chamorro, 2003). La intersembra trigo-sorgo permitiría mejorar la estabilidad del sistema y el aporte de Carbono al suelo, tanto en años secos como en normales y húmedos. En años secos el mayor espaciamiento de los surcos podría incrementar el rendimiento de trigo y el sorgo intersembrado aprovecharía sus ventajas productivas en sequía. En años húmedos en los que el espaciamiento de surcos no represente ventaja para el trigo, el sorgo intersembrado podría aprovechar el agua residual, logrando un mayor rendimiento que un sorgo de segunda.

No hay estudios locales previos que consideren el efecto del espaciamiento de los surcos de trigo combinado con diferentes niveles de cobertura de rastrojo, sobre la productividad del cultivo en secano. A nuestro entender tampoco existen antecedentes para éste y otros ambientes que comparen el comportamiento de un sorgo intersembrado con trigo respecto de un cultivo de sorgo convencional.

1.1. Hipótesis

En base a los argumentos expuestos arriba se plantean las siguientes hipótesis:

El aumento del espaciamiento del entre surco en un cultivo de trigo, respecto del espaciamiento convencional (17 cm), en suelo bajo siembra directa, con cobertura de rastrojo, permitirá:

- 1) demorar el consumo del agua almacenada en suelo hasta etapas más tardías (“transferir agua”).
- 2) producir un aumento de rendimiento del trigo cuando el agua es limitante.

La inclusión de un cultivo de sorgo intersembrado en trigo espaciado (70 cm) permitirá, respecto del cultivo de trigo convencional (con entre surcos de 17 cm):

- 3) aumentar la producción de granos y/o el margen bruto del sistema (i.e. trigo-sorgo) cuando el agua es limitante,
- 4) aumentar la producción de biomasa y/o el aporte de rastrojo del sistema (i.e. trigo-sorgo) cuando el agua es limitante,
- 5) aumentar la estabilidad del sistema ante variaciones en la disponibilidad de agua.

Dado que las hipótesis propuestas no suponen un aumento ni en la disponibilidad ni en la captación de agua, implican un aumento en la eficiencia de uso del agua.

1.2. Objetivos

El Objetivo General de este estudio fue mejorar el conocimiento sobre el aprovechamiento (i.e. la captación y/o la eficiencia de uso) del agua, mediante dos estrategias de manejo de fácil implementación: (1) distanciamiento entre hileras e (2) intersiembra de un cultivo de verano (sorgo), a fin de aumentar el rendimiento y producción de biomasa de un sistema que incluyen trigo, en la región semiárida de Córdoba.

Los Objetivos Específicos son:

Evaluar si por medio del aumento del espaciamiento de los entre surcos del cultivo de trigo, en un suelo bajo siembra directa, con cobertura de rastrojo e intersiembra de sorgo, puede lograrse:

- 1) un aumento de rendimiento del sistema productivo,
- 2) un aumento del aporte de biomasa al suelo, deprimiendo lo menos posible el rendimiento del sistema,
- 3) un aumento en la estabilidad del sistema ante variaciones en la disponibilidad de agua, tanto en términos de rendimiento como de biomasa,

respecto de un cultivo de trigo con espaciamiento convencional (17 cm), en la región semiárida de Córdoba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción general

Se realizaron dos ensayos en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi (31° 51' S 63° 44' O 300 msnm) bajo sistema de SD, con cultivo antecesor soja, durante los períodos 2007/08 y 2008/09. El suelo fue un Haplustol típico franco-limoso de la serie Oncativo, con horizontes A, AC y C (USDA Soil Taxonomy, 1999). Los datos analíticos del perfil típico se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos analíticos del perfil típico de un suelo Haplustol Típico de la serie Oncativo, Mandrefi, Córdoba, Argentina.

Horizontes	A	AC	C
Profundidad (cm)	0-23	23-53	>53
Arcilla (g kg ⁻¹)	167	122	102
Limo (g kg ⁻¹)	687	711	719
Arena (g kg ⁻¹)	165	170	158
Materia Orgánica (%)	2,0	1,0	0,4
pH (1:1)	6,2	7,0	8,2
Densidad Aparente (g cm ⁻³)	1,23	1,22	1,20

2.2. Condiciones del cultivo

Las siembras de trigo se realizaron el 6 de junio de 2008 y 19 de junio de 2009, utilizando el cultivar Baguette 13 Premium. Este cultivar es de ciclo corto - intermedio, baja altura (ca. 90 cm), resistente al vuelco y de porte semierecto. La densidad de siembra fue 225 plantas m⁻² en los tres espaciamientos considerados y para ambos años de estudio. Se utilizó una sembradora AGROMETAL, modelo MXY, de 27 surcos distanciados 17,5 cm, la cual permite ajustar la distancia entre hileras evitando la remoción del suelo en aquellos surcos que no siembran. La sembradora fue traccionada por un tractor John Deere modelo 7515, doble tracción, dotado de un equipo de guiado satelital marca Trimble, con corrección RTK (Real Time Kinematic) para realizar pasadas paralelas con error promedio de 1 cm.

A los 25 días después de siembra (DDS), se aplicaron 70 kg ha⁻¹ de N como urea, al voleo en cobertura total. No fue necesario aplicar fósforo dado que el contenido de P extractable en los 20 centímetros superficiales de suelo, fue de 26 ppm, considerándose

que el suelo se encontraba bien provisto de este nutriente, según Ciampitti et al., (2009) el rango de umbrales aproximados de Bray 1 para no sufrir deficiencias de P son de 15 a 20 ppm para Trigo y cabe destacar que estos umbrales son relativamente constantes e independientes del rendimiento esperado del cultivo. Las malezas fueron controladas con una mezcla de glifosato ($3000 \text{ cm}^3 \text{ i.a. ha}^{-1}$) y metsulfuron (4 g i.a. ha^{-1}) a los 4 DDS. Posteriormente el control de malezas de los tratamientos con entre surco a 70 cm fueron realizados con mochila y campana aplicando glifosato a razón de $2000 \text{ cm}^3 \text{ i.a. ha}^{-1}$.

Como no existen evaluaciones locales sobre las fechas de siembra de sorgo intersembrado en trigo, se optó por sembrar aproximadamente 30 días antes de la cosecha de trigo que es una fecha óptima de siembra de sorgo. La fecha de siembra para la campaña 2008/2009 fue del 31 de octubre, tanto para el sorgo intersembrado como para el puro, mientras que en la campaña 2009/2010 la fecha de siembra fue del 26 de noviembre en ambos casos. El híbrido utilizado en ambos años fue Neuhuen (INTA-PEMAN), de alto potencial de rendimiento en grano y en biomasa total, gran fortaleza de caña y muy adaptable a diferentes ambientes (según descripción del criadero de origen). La siembra fue realizada con sembradora de parcela de montaje en tres puntos, la misma se adaptó dejando 3 cuerpos de siembra a 70 cm entre líneas. De esta manera con dos pasadas de siembra se logró que el cultivo de trigo quedase intersembrado con 6 surcos de sorgo a una densidad de $19 \text{ plantas m}^{-2}$ tanto en los arreglos de intersiembra como en el caso del cultivo puro.

Las malezas fueron controladas aplicando glifosato a los 5 DDS y a los 35 DDS con una dosis de $3000 \text{ cm}^3 \text{ i.a. ha}^{-1}$, utilizando campanas en el entresurco de manera de no dañar el cultivo.

Se fertilizó a los 50 DDS con $120 \text{ kg i.a. ha}^{-1}$ de N como urea al voleo, previo a un día de lluvia logrando así una muy buena eficiencia de aplicación en ambos años.

2.3. Tratamientos y diseño experimental

En las dos campañas de trigo se utilizó un diseño en parcelas divididas con tres repeticiones en boques. Los tratamientos de trigo de las parcelas principales fueron: (i) secano con “rastrajo simple” ($5,6 \text{ tn ha}^{-1}$ de rastrajo) proveniente de la soja realizada en la campaña anterior, (ii) secano con “rastrajo doble” ($11,2 \text{ tn ha}^{-1}$) y (iii) riego con rastrajo simple. Los subtratamientos de trigo de las subparcelas fueron: (i) espaciamiento normal:

surcos espaciados a 17 cm, (ii) espaciamiento doble: surcos a 35 cm y (iii) espaciamiento cuádruple: surcos a 70 cm. A cada subparcela tuvo 4,5 m de ancho correspondiendo a 27, 13 y 6 surcos espaciados 17, 35 y 70 cm, respectivamente, con una longitud de 9 m; en consecuencia, cada subparcela ocupó una superficie de 40,5 m² sembrada.

En el cultivo de sorgo se utilizó un diseño en bloques completos con tres repeticiones para ambas campañas. Los tratamientos fueron dos: (i) sorgo normal: sorgo sembrado sobre barbecho desde la cosecha de la soja previa, espaciado 70 cm y (ii) sorgo intersembrado: en trigo espaciado 70 cm. Ambos tratamientos de sorgo fueron conducidos en secano, con rastrojo simple proveniente de la soja realizada en la campaña anterior (5.6 tn ha⁻¹). Cada unidad experimental de sorgo ocupó 6 surcos, i.e. 4,2 m de ancho, de 9 m de largo, resultando 36 m² sembrados.

2.4. Mediciones

2.4.1. Cobertura de rastrojo

En ambas campañas, a los 40 DDS se midió: (a) el espesor de la capa de rastrojo, tomando dos mediciones por parcela con un calibre, (b) el porcentaje de cobertura, por medio de la cobertura medida en una fotografía digital que abarcó 1 m² tomada en cada parcela, (c) peso seco del rastrojo, tomando 6 muestras por parcela, en un área de 0,33 m². Las muestras se secaron en estufa a 70 °C durante 48 hs hasta peso constante.

2.4.2. Evaporación de agua desde el suelo

Se realizaron mediciones en la capa superficial del suelo utilizando microlisímetros (cilindros de 15 cm de alto x 5 cm de diámetro), cada 7 días, desde los 50 DDS del trigo hasta madurez fisiológica. En cada unidad experimental se colocaron dos microlisímetros en los entresurcos, uno fue retirado inmediatamente con la masa de suelo para la determinación del contenido de agua al inicio, el otro microlisímetro quedaba colocado en el suelo durante 7 días para luego determinar su contenido de agua final. En ambos casos la masa de suelo se secó en estufa a 90 °C durante 48 hs para determinación de peso seco. La cantidad de agua evaporada (E, mm) se calculó como la diferencia entre mediciones sucesivas.

2.4.3. Consumo de agua por el cultivo

El consumo de agua acumulado para diferentes períodos (C, mm) fue calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$C = R + PE \pm VA \quad \text{Ec. [1]}$$

donde VA es la variación de almacenaje, R es el riego, y PE es la precipitación (todas las variables expresadas en mm).

Para la determinación del contenido volumétrico de agua del suelo se efectuaron mediciones en las parcelas experimentales con una periodicidad aproximada de 15 días y en caso de ocurrencia de lluvias a los 2 días siguientes de las mismas. Las mediciones se realizaron empleando una sonda de neutrones Troxler Depth Moisture Gauge 3320 series (Troxler International Ltd., USA), con intervalos de lectura en capas de 20 cm, hasta 260 cm de profundidad. Con esta profundidad de medición es muy poco probable que haya habido pérdidas de agua por drenaje profundo ya que el agua útil del perfil (394 mm) es muy superior a la lluvia mensual de las campañas en estudio (Tabla 2) y que todas las precipitaciones diarias fueron menores a 55 mm, excepto el 1-dic-2009 en que llovieron 123 mm. La PE se calculó a partir de la precipitación real diaria (PP). Para $PP \leq 15$ mm, se consideró que $PE = PP$; cuando $PP > 15$ mm, la PE se calculó por medio de la Ec. [2] (Dardanelli et al., 1992) la cual tiene en cuenta el aumento del escurriendo con el aumento de la PP, en los suelos de Manfredi:

$$PE = 2.43 PP^{0.667} \quad \text{Ec. [2]}$$

En los tratamientos de surcos a 70 cm, las mediciones se realizaron en el entresurco y en la línea de siembra. A los fines de calcular el C (Ec. [1]) en estos tratamientos, se utilizó el promedio de ambas mediciones. En los tratamientos restantes las mediciones se realizaron en el entresurco solamente. El período de mediciones en trigo y sorgo comprendió desde la siembra hasta madurez fisiológica.

Las primeras mediciones de contenido de agua del suelo se realizaron con barreno; estas mediciones, realizadas tanto en las parcelas en secano como en riego, se utilizaron para calibrar las ecuaciones que permitieron obtener los valores de contenido de humedad volumétrica del suelo por medio de sonda de neutrones.

El riego se realizó por medio de sistema de goteo, con mangueras ubicadas cada 50 cm, con goteros cada 50 cm. El riego se aplicó cuando el perfil redujo su contenido al 50 % del agua útil en la profundidad de exploración de raíces. La lámina aplicada se determinó mediante caudalímetros previamente calibrados.

2.4.4. *Intercepción de la radiación por el cultivo*

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente sobre el cultivo en un momento del día (I_0) y RFA a nivel del suelo I , se midieron con un ceptómetro (barra medidora de flujo de fotones) de 1 m de largo, en cuatro estados del ciclo: (i) inicio de macollaje, (ii) inicio de encañazón, (iii) 20 días pre-antesis y (iv) 7 días post-antesis. En cada estado las mediciones se realizaron en cuatro horarios: 9:00 a 10:00 hs, 11:30 a 12:30 hs, 14:00 a 15:00 hs y 17:00 a 18:00 hs. En cada horario se realizaron tres mediciones por parcela. En cada medición el ceptómetro se colocó de manera tal que sus extremos coincidan con un surco (Fig. 1). La proporción de RFA interceptada en cada horario (f_i) se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$f_i = 1 - \frac{I_i}{I_{0i}} \quad \text{Ec. [3]}$$

mientras la proporción de RFA interceptada en un día se calculó como:

$$f = \frac{1}{n} (f_i \cdot I_0) \quad \text{Ec. [4]}$$

donde n es la cantidad de horarios de medición.

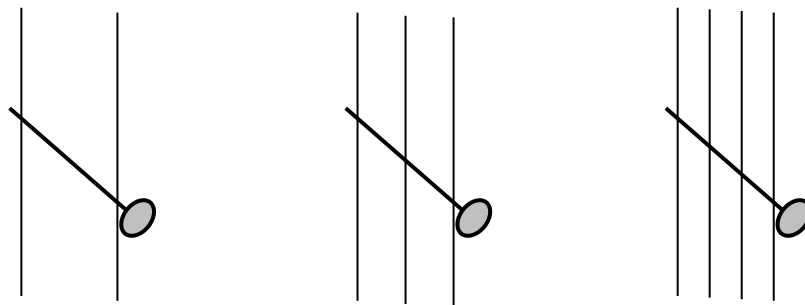


Fig. 1. Ubicación de la barra del ceptómetro según espaciamiento entre surcos: (a) 70 cm, (b) 35 cm y (c) 17 cm.

La RFA intercepta acumulada durante el día (RFA_i , MJ m⁻² d⁻¹) de cada parcela para cada estado, fue calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$RFA_i = f \cdot RFA_0 \quad \text{Ec. [5]}$$

donde RFA_0 es la RFA incidente en un día (MJ m⁻² d⁻¹). En los días en que f no fue medido, se lo estimó por interpolación lineal en función de la fecha, entre mediciones sucesivas.

2.4.5. Biomasa, índice de cosecha y rendimiento en grano

2.4.5.1. Trigo

Previo a madurez se tomaron muestras para determinar (i) la biomasa aérea, i.e. el peso seco del cultivo excluyendo raíces y (ii) el índice de área verde. Las mediciones se realizaron en: macollaje y 7 días pos-antesis (inicio del llenado de granos), definido como el final del período de crecimiento de las espigas (Abbate et al., 1997). Las muestras tomadas fueron de 0,5 m de surco e involucraron 2, 3 y 4 surcos centrales de cada parcela, en los espaciamientos de 70, 35 y 17 cm respectivamente. Se obtuvo el peso fresco del material cosechado y el de una alícuota que posteriormente se secó en estufa a 60°C hasta peso constante. A partir de estos datos se calculó el peso seco total del cultivo (PST). La tasa de crecimiento del cultivo (TCC, g m² d⁻¹) se calculó como el cociente entre aumento del PST y el intervalo entre muestreos.

Para determinar el índice de área verde (IAV, m² m⁻²), siguiendo el método propuesto por Abbate et al. (1997), en una submuestra se determinó, el área de todos sus órganos verdes (hojas, tallos y espigas en caso de estar presentes), por medio de un planímetro LI-COR 3050C (LICOR, Lincoln, Nebraska, EE.UU.), posteriormente se obtuvo el peso seco de la submuestra. A partir de estos datos y del PST se calculó el IAV.

Para determinar el rendimiento (RTO, t ha⁻¹), i.e. peso de los granos al 14 % de humedad, luego de madurez fisiológica, en cada parcela se cosecharon todas las espigas de 1 m de surco de 2, 3 y 4 surcos centrales, en los espaciamientos de 70, 35 y 17 cm respectivamente. Las espigas se contaron (para calcular su número por unidad de superficie) y luego se trillaron mediante una trilladora estática. El grano se pesó en fresco y se tomó una submuestra que se pesó en fresco y luego de secarlo en estufa a 60°C hasta

peso constante, para determinar su humedad. El índice de cosecha (IC, en %) se calculó como el cociente entre el RTO (base seca) y el PST.

Para determinar el peso por grano (PG), se pesó una submuestra de mil granos. El número de granos m^{-2} (NG) se calculó como el cociente entre el RTO (base seca) y el PG.

2.4.5.2. *Sorgo*

Luego de madurez fisiológica, se tomó una muestra de cinco plantas/parcela. A estas muestras se les contó el número de panojas, se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante, se pesaron, trillaron y luego se pesó el grano en seco. A partir de estos datos se calculó IC y el rendimiento/panoja.

Junto con la muestra anterior, en cada parcela, se cosecharon todas las panojas de 1 m de surcos, en dos surcos. Las panojas se trillaron mediante una trilladora estática. El grano se pesó en fresco y se tomó una muestra que se pesó en fresco y luego de secarlo en estufa a 60°C hasta peso constante, para determinar su humedad. A partir de estos datos se calculó el RTO, expresado al 15 % de humedad y el número de panojas por unidad de superficie.

2.4.6. *Equivalente de uso de la tierra*

Para evaluar la mejora del rendimiento por unidad de superficie del cultivo intersembrado se calculó el equivalente de uso de la tierra (EUT, Trenbath, 1976) como:

$$EUT = \frac{RTO_{TI}}{RTO_{TP}} + \frac{RTO_{SI}}{RTO_{SP}} \quad \text{Ec. [6]}$$

donde RTO_{TI} es el RTO de trigo en interseembra (espaciado 70 cm, con cobertura en rastrojo simple), RTO_{TP} es el RTO de trigo puro (espaciado 17 cm, con cobertura en rastrojo simple), RTO_{SI} es el RTO de sorgo intersembrado y RTO_{SP} es el RTO de sorgo puro.

El EUT (conocido en internacionalmente como LER) expresa la superficie de tierra necesaria para producir con los cultivos individuales el mismo rendimiento que los cultivos dobles en una unidad de superficie.

2.4.7. *Aporte de rastrojo y de biomasa al suelo*

El peso seco del rastrojo (PSR, $g\ m^{-2}$) producido por cada cultivo se calculó como:

$$\text{PSR} = \text{PST} - \text{RTO} / (100 - \text{H}) \quad \text{Ec. [7]}$$

donde H (%) es el porcentaje de humedad de comercialización (14% para trigo y 15% para sorgo). A su vez, se consideró que el aporte de biomasa de cada cultivo al suelo estuvo constituido por el PSR.

Como aproximación se consideró que el aporte de biomasa al suelo estuvo constituido por el peso seco rastrojo del cultivo (PSR), es decir, la biomasa aérea del cultivo excluyendo el rendimiento (biomasa exportada), sin tener en cuenta el aporte de biomasa de las raíces. En principio esta última es una proporción poco variable de la biomasa total producida por el cultivo, cercana al 20% en trigo (Gallagher y Biscoe 1978; Álvarez y Steinbach 2010), lo mismo sucede para sorgo.

2.4.8. Eficiencia de uso de agua

La eficiencia de uso del agua consumida por el cultivo de trigo para producir PST (EUA_c , g mm^{-1}) se calculó como:

$$\text{EUA}_c = \text{PST}/\text{C} \quad \text{Ec. [8]}$$

donde el PST y el C fueron computados hasta madurez.

Por su parte, la eficiencia de uso del agua transpirada por el cultivo de trigo para producir PST (EUA_t , g mm^{-1}) se calculó a madurez como:

$$\text{EUA}_t = \text{PST}/\text{T} \quad \text{Ec. [9]}$$

A su vez, la transpiración (T, mm) se calculó como:

$$\text{T} = \text{C} - \text{E} \quad \text{Ec. [10]}$$

2.4.1. Eficiencia de uso de la radiación

La eficiencia de uso de la RFA_i interceptada por el cultivo de trigo para producir PST (EUR , g MJ^{-1}) se calculó como:

$$\text{EUR} = \text{PST}/\text{RFA}_i \quad \text{Ec. [11]}$$

donde el PST fue computado a madurez fisiológica y la RFA_i fue la acumulada hasta 20 días posantesis. La RFA_i se computó hasta ese momento porque durante la última fase del llenado de los granos de los tratamientos de secano, la proporción de área verde del cultivo que interceptaba radiación era menor que el área marchita.

2.4.2. Margen Bruto

El margen bruto del sistema (MB, U\$ ha⁻¹) se calculó como la diferencia entre los ingresos generados por las actividades, trigo y sorgo (ingreso bruto) y los gastos en que se incurren para producir dicho ingreso (gastos directos). El ingreso bruto se calculó como el producto entre el rendimiento del grano y el precio del grano (Coscia, 1976). A tal fin se tomaron los precios (expresados como dólares EE.UU. constantes) de la serie histórica 1980-2009 (Revista Agromercado, 2010) resultando valores de 180 y 110 U\$ tn⁻¹ para trigo y sorgo, respectivamente.

Para el cálculo de costos directo se tuvo en cuenta los costos de semilla de trigo, semilla de sorgo, riego y urea utilizados para producir dichos ingresos. El precio del riego fue estimado en 1 U\$ mm⁻¹ regado (INTA Manfredi). La semilla de trigo fue calculada como el doble del precio promedio del grano expresado en U\$ kg⁻¹ de semilla y la bolsa de 20 kg de sorgo como el valor del precio promedio de una tonelada de grano.

2.4.3. Frecuencia de precipitaciones

Se determinaron las frecuencias de precipitaciones para los años de ensayos. Para ello se tuvo en cuenta las precipitaciones históricas de la estación meteorológica Manfredi, en el periodo desde el año 1931 hasta el año 2010.

2.4.4. Análisis estadísticos

Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANVA) combinando años en un diseño factorial, para determinar diferencias entre las medias de los tratamientos. Las medias de los tratamientos se compararon por el método de las mínimas diferencias significativas (MDS) cuando el ANVA indicó diferencias entre medias significativas (Steel & Torrie, 1980). Al comparar las medias se consideró al trigo en secano, con cobertura simple de rastrojo y espaciado 17 cm, como el cultivo de referencia ya que corresponde a un trigo típico de la zona. La asociación entre variables se estudió por medio de análisis de regresión calculadas con las medias de los tratamientos. A fin de informar fácilmente si las relaciones encontradas fueron positivas o negativas, su coeficiente de determinación (R^2 , i.e. el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson) se expresa con el signo de la pendiente de la relación. El nivel de significancia usado en todos los test estadísticos fue $P < 0,05$.

3. RESULTADOS

3.1. Características climáticas de las campañas

La distribución de las precipitaciones anuales históricas de Manfredi (área semiárida de la provincia de Córdoba), muestra un régimen monzónico típico con escasa lluvia invernal y alta estival (Tabla 2). Así, el cultivo de trigo queda abastecido hasta cerca de espigazón (septiembre) por el agua almacenada en el perfil del suelo proveniente de las precipitaciones otoñales y luego por las precipitaciones que puedan ocurrir en primavera.

Las lluvias previas al establecimiento del cultivo de trigo (de marzo a mayo) en el año 2008 acumularon 190 mm, superando en 9 mm al valor histórico; mientras que en el año 2009 las precipitaciones fueron 63 mm inferiores a las históricas.

Tabla 2. Precipitaciones mensuales históricas (promedio 1931 a 2010) y precipitaciones mensuales para las campañas 2008/09 y 2009/10, de la Estación Meteorológica de INTA Manfredi, Córdoba, Argentina.

<i>Año</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Total</i>
<i>1931-2010</i>	<i>119</i>	<i>96</i>	<i>102</i>	<i>56</i>	<i>23</i>	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>11</i>	<i>34</i>	<i>73</i>	<i>99</i>	<i>120</i>	<i>755</i>
<i>2008</i>	<i>144</i>	<i>133</i>	<i>129</i>	<i>43</i>	<i>18</i>	<i>4</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>36</i>	<i>89</i>	<i>114</i>	<i>61</i>	<i>769</i>
<i>2009</i>	<i>84</i>	<i>63</i>	<i>99</i>	<i>10</i>	<i>9</i>	<i>0</i>	<i>16</i>	<i>0</i>	<i>38</i>	<i>14</i>	<i>40</i>	<i>283</i>	<i>656</i>
<i>2010</i>	<i>118</i>	<i>162</i>	<i>72</i>	<i>87</i>	<i>22</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2</i>	<i>84</i>	<i>45</i>	<i>57</i>	<i>42</i>	<i>691</i>

La Tabla 2 muestra que para el cultivo de sorgo (enero y febrero) se presentaron diferencias notorias en las precipitaciones entre las campañas en estudio. Mientras en la primera campaña las precipitaciones de enero y febrero estuvieron 32% por debajo del promedio histórico (215 mm), en la segunda campaña las precipitaciones fueron 30% mayores al promedio.

3.2. Rendimiento y sus componentes

El RTO se analizó considerándolo como el producto entre el PST y el IC. A continuación se analizan las variaciones del RTO (Tabla 3); en la sección 3.3 se analizaron las variaciones del IC y en la sección 3.4 las del PST.

3.2.1. Trigo

En ambos años, el RTO individual de un surco de trigo, i.e. el RTO por unidad longitudinal de surco (g m^{-1}), aumentó marcadamente con el espaciamiento (Fig. 2). Sin riego el aumento promedio respecto del espaciamiento de 17 cm fue 69% al aumentar el espaciamiento a 35 cm y 134% al aumentarlo a 70 cm; con riego el aumento con el espaciamiento fue de 36% y 124% respectivamente. Este comportamiento se manifestó tempranamente, en el peso seco en macollaje (Fig. 3). Sin embargo, el RTO por unidad de superficie (i.e. g m^{-2}) presentó un patrón de disminución ($P \leq 0,05$; Tabla 3) a medida que aumentó el espaciamiento entre surcos. Sin riego, el RTO se redujo respecto del espaciamiento de 17 cm, 18 y 43% al aumentar el espaciamiento a 35 y 70 cm, mientras que bajo riego la reducción fue de 28% y 46% respectivamente. Estas caídas equivalen a un promedio de 31 kg ha^{-1} por cada cm de aumento del espaciamiento en secado y $77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ bajo riego (Tabla 3); **Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Los tratamientos con simple y doble cobertura de rastrojo no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$; Tabla 3) en ambos años de estudio. Por otro lado, con la aplicación de riego se alcanzó un mayor RTO en ambos años de estudio ($P \leq 0,05$; Tabla 3). Asimismo, en todos los tratamientos de trigo, el RTO del segundo año fue más bajo que en el primero, tanto en riego como en secano.

En ambos años el RTO se asoció más con el PST ($R^2=0,99$ y $R^2=0,97$ para la campaña 2008/09 y 2009/10 respectivamente; $P < 0,001$, $gl=8$, término independiente no significativo; Fig. 4) que con el IC ($R^2=-0,38$ y $R^2=0,04$; $P > 0,08$ y $P > 0,60$; $gl=7$). El comportamiento del RTO de trigo reflejó entonces los efectos de los tratamientos sobre el PST del cultivo, más que sobre el IC o el PST por surco.

En ambos años, el NG no presentó diferencias significativas en cuanto la cobertura de rastrojo pero se redujo con el aumento del espaciamiento ($P \leq 0,05$; Tabla 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**) y respondió positivamente al riego, sin presentar interacción significativa entre tratamientos.

Por su parte, el PG no presentó diferencias significativas en cuanto la cobertura de rastrojo y al espaciamiento, en ninguno de las dos campañas. La única diferencia estadística ($P \leq 0,05$; Tabla 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**) entre tratamiento fue un aumento de 6% con la aplicación de riego en el año 2008, produciendo

una respuesta de 6%. Pese a esa pequeña diferencia, el PG de trigo fue estable entre años y tratamientos, promediando 30.3 mg.

El comportamiento del RTO fue similar al del NG, de hecho el RTO se asoció mucho más estrechamente con el NG ($R^2=0,99$ y $R^2=0,98$ para la campaña 2008/09 y 2009/10 respectivamente; $P<0,001$, $gl=8$, término independiente no significativo) que con el PG ($R^2=0,07$ y $R^2=0,11$; $P>0,18$ y $P>0,11$; $gl=8$). Dada la estabilidad del PG entre años, la regresión entre RTO y NG no difirió ni en pendiente ni término independiente entre año, siendo la regresión conjunta altamente significativa ($R^2=0,99$; $P<0,001$; $gl=17$, término independiente no significativo; Fig. 5). A su vez, dentro de cada año, el NG se asoció positivamente con la TCC calculada entre macollaje e inicio del llenado del grano ($R^2=0,94$ y $R^2=0,95$; $P<0,001$; $gl=7$).

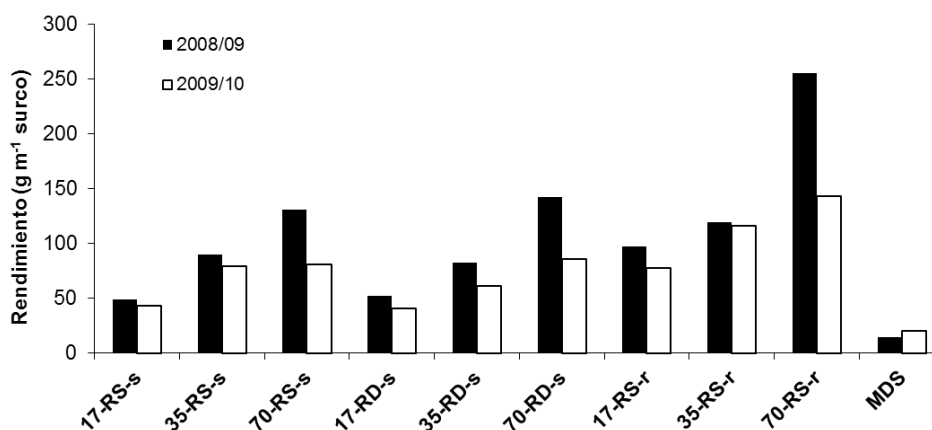


Fig. 2. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y, la cobertura de rastrojo a la siembra (simple y doble), con (r) y sin (s) riego, sobre el rendimiento en grano por unidad lineal de surco. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.

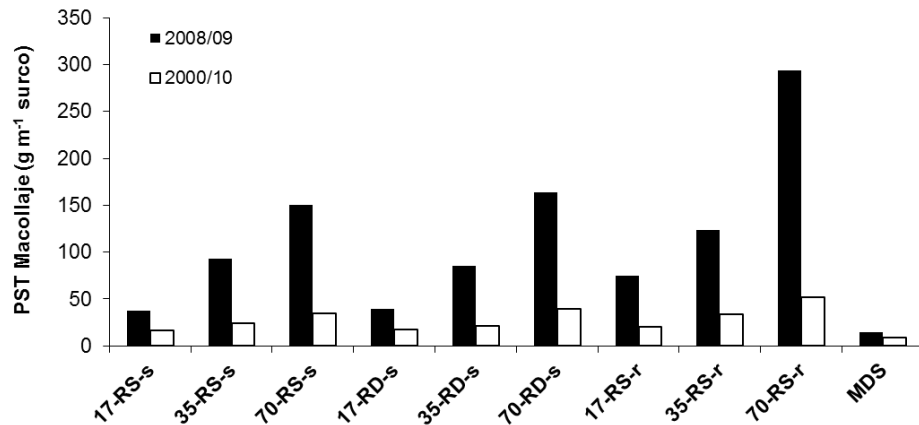


Fig. 3. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre el peso seco de trigo a macollaje por unidad longitudinal de surco. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparar espaciamientos.

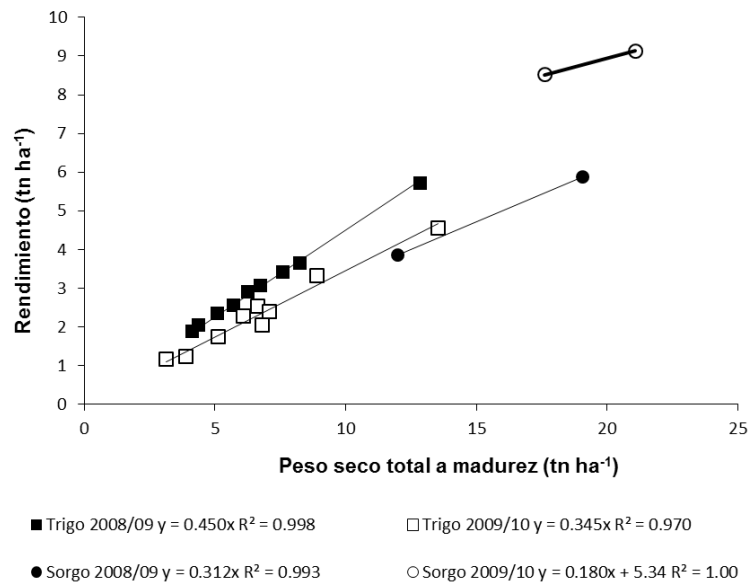


Fig. 4. Relación entre el peso seco del grano y el peso seco total del cultivo a madurez para trigo a través de tres espaciamiento de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo, con y sin riego, y sorgo puro o intersembrado en trigo, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. El término independiente de las relaciones solo fue significativo en sorgo.

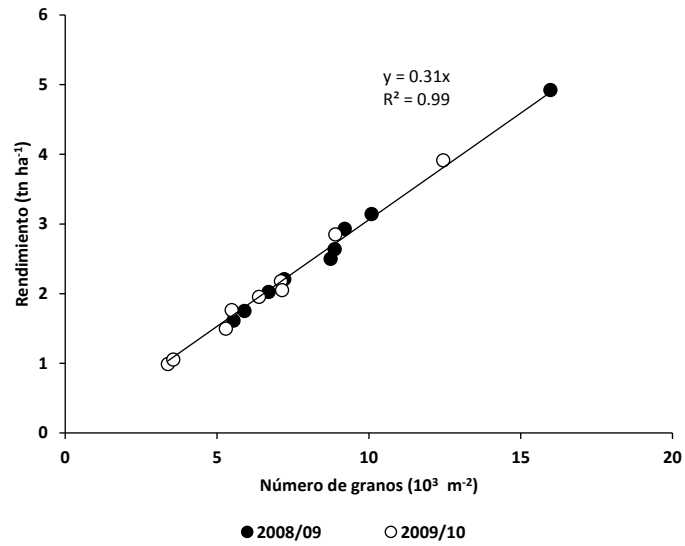


Fig. 5. Relación entre el rendimiento y el número de granos m⁻² para trigo a través de tres espaciamiento de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo, con y sin riego, y sorgo puro o intersechado en trigo, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. La pendiente y el término independiente de las relaciones varió entre años.

Tabla 3. Efecto del espaciamiento de los surcos y la cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, sobre el rendimiento por unidad de superficie (RTO), el número de granos m^{-2} (NG) y el peso por grano (PG), para los cultivos de trigo, sorgo y el sistema sorgo intersembrado en trigo, en Manfredi, Córdoba, para las campañas 2008/09 y 2009/10. Cada valor representa la media de tres repeticiones.

Cultivo	Espac. (cm)	Rast.	Riego	RTO 2008/09	RTO 2009/10	NG. 2008/09	NG 2009/10	PG 2008/09	PG 2009/10
				(tn ha ⁻¹)		(granos m ⁻²)		(mg grano ⁻¹)	
Trigo	17	Simple	No	2,91	2,53	8742	7108	28.9	31.0
	35	Simple	No	2,57	2,27	7212	6385	30.6	31.0
	70	Simple	No	1,88	1,15	5545	3386	29.3	29.2
	17	Doble	No	3,07	2,38	8871	7141	29.9	28.7
	35	Doble	No	2,35	1,74	6702	5289	30.2	28.3
	70	Doble	No	2,04	1,23	5900	3557	29.6	29.6
	17	Simple	Si	5,72	4,55	15980	12450	30.7	31.4
	35	Simple	Si	3,41	4,00	9205	1069	31.8	32.1
	70	Simple	Si	3,66	2,05	10093	5483	31.2	32.1
Media para espaciamiento									
Trigo	17			3,90	3,16	11198	8899	29.8	30.4
	35			2,78	2,44	7706	6857	30.9	30.4
	70			2,52	1,48	7179	4142	30.0	30.3
Media para rastrojo y riego									
Trigo		Simple	No	2,45	1,99	7167	5626	29.6	30.4
		Doble	No	2,49	1,78	7158	5329	29.9	28.9
		Simple	No	2,45	1,99	7167	5626	29.6	30.4
		Simple	Si	4,26	3,31	11759	8944	31.2	31.9
Sorgo				5,95	9,24	47591	65482	10.7	12.0
Sorgo inter.				3,89	8,61	28625	61012	11.6	12.0
Trigo + Sorgo inter.				5,77	9,77	34170	64398	14.4	12.9
Significancia del ANVA									
Trigo	Espac. (E)			*	*	*	*	ns	ns
	Rastrojo (P)			ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Riego (R)			*	*	*	*	*	ns
	E x R			ns	ns	ns	ns	ns	ns
	E x P			ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sorgo Sistema	(puro vs.inter.)			*	ns	*	ns	ns	ns
				*	*	*	*	*	*
MDS									
Trigo	E			0,51	0,52	1451	1821	2.9	2.3
	P			0,67	0,50	2281	1464	2.0	1.7
	R			0,81	0,61	1924	1942	1.5	1.7
	P para igual E			1,16	0,86	3952	2536	3.5	2.9
	P. para cualquier E			0,86	0,95	2880	3223	4.1	4.1
	R para igual E			1,41	1,05	3332	3363	2.6	2.9
	R para cualquier E			1,21	0,93	3616	3074	4.3	3.3
	Sorgo ^a			0,73	3,11	16619	22033	3.6	0.0
Sist. ^b				0,86	0,95	3731	4357	2.8	2.2

* indica diferencias significativas ($P \leq 0,05$); ns indica diferencia no significativa ($P > 0,05$), según el test de F del ANVA. MDS: mínima diferencia significativa ($P \leq 0,05$). ^a MDS para comparar sorgo puro vs. sorgo intersembrado. ^b MDS para comparar trigo puro, sorgo puro y trigo + sorgo intersembrado.

3.2.2. *Sorgo*

El cultivo de sorgo intersembrado rindió un 35 y 7% menos respecto al sorgo puro en el primer y segundo año respectivamente.

Si se comparan tratamientos entre campañas, se puede ver que el RTO fue 36% menor para el primer año respecto del segundo en el cultivo puro (sembrado luego de barbecho) y 45 % en el cultivo de sorgo intersembrado (Tabla 3). Estas diferencias pueden atribuirse a que la primera campaña fue más seca que la segunda durante el ciclo del sorgo (diciembre a febrero), donde en la campaña 2008/09 las precipitaciones fueron un 70% inferior al régimen promedio histórico y en la campaña 2009/10 las precipitaciones superaron las historias en un 145%.

3.2.3. *Sistema sorgo intersembrado en trigo*

El sistema trigo-sorgo, tuvo un RTO 55% inferior en el primer año con respecto al segundo. Comparando el sistema trigo-sorgo con la mejor opción de cultivo trigo en secano (trigo a 17 cm), se puede observar que el sistema fue 21 y 71% superior en ambas campañas, respectivamente (Tabla 3).

Al espaciar los surcos de 17 cm a 70 cm, la intersiembra de sorgo adiciono al sistema 47 y 86% del RTO.

En la Tabla 4 se presenta el detalle de cálculo del EUT para el sistema de sorgo intersembrado en trigo de ambas campañas. El valor resultante no difirió estadísticamente entre campañas y en ambos años fue superior a 1 ($P \leq 0.06$), indicando que el rendimiento de la intersiembra superó a los cultivos puros en 37%.

Tabla 4. Rendimiento de los cultivos puros y en el sistema de sorgo intersembrado en trigo ($tn\ ha^{-1}$), y el equivalente de uso de la tierra (EUT) resultante (\pm error estándar de la media), en Manfredi, Córdoba, para las campañas 2008/09 y 2009/10. Cada valor representa la media de tres repeticiones (las MDS para rendimiento se presentan en la Tabla 3).

<i>Cultivo</i>	<i>Sistema</i>	<i>Unidad</i>	<i>Campaña 2008/09</i>	<i>Campaña 2009/10</i>
<i>Trigo</i>	<i>puro</i>	<i>tn ha⁻¹</i>	2.9	2.5
<i>Trigo</i>	<i>intersiembra</i>	<i>tn ha⁻¹</i>	1.9	1.2
<i>Sorgo</i>	<i>puro</i>	<i>tn ha⁻¹</i>	6.0	9.2
<i>Sorgo.</i>	<i>intersiembra</i>	<i>tn ha⁻¹</i>	3.9	8.6
<i>EUT</i>	<i>intersiembra</i>	<i>1:1</i>	<i>1.3\pm0.12</i>	<i>1.4\pm0.14</i>

3.3. Variaciones del índice de cosecha

En la Fig. 4 se presenta la relación entre el RTO y el PST para trigo y sorgo a través de los tratamientos estudiados en ambas campañas. Si la recta de regresión correspondiente a cada situación pasara a través del origen, denotaría que el IC fue constante e igual a la pendiente de esa recta. De hecho el término independiente resultó estadísticamente no distinto a cero en todas las relaciones, con la excepción de sorgo en la campaña 2008/09. Se puede estimar entonces, por medio de la recta de regresión, que el IC de trigo pasó de 45% en la campaña 2008/09 a 35% en la campaña 2009/10 (diferencias entre pendientes significativas, $P < 0,001$), pero sin diferencias relevantes dentro de cada campaña. El sorgo de la campaña 2008/10 presentó una estabilidad en el IC entre tratamientos comparable a la de trigo, sin embargo, durante la campaña 2009/10 el IC se incrementó de 37% a 42% ($P < 0,05$) por efecto de la intersembra (Tabla 5).

3.4. Producción de peso seco del cultivo

3.4.1. Trigo

En ambos años, el PST generado por unidad de superficie (i.e. g m^{-2}) a madurez en los dos años de ensayo presento diferencias significativas ($P \leq 0,05$; Tabla 5) en cuanto al espaciamiento y riego. En secano, el PST se redujo 17 y 42% al aumentar el espaciamiento de 17 cm a 35 y 70 cm respectivamente, mientras que la reducción del PST con riego fue 37 y 43% al aumentar el espaciamiento. La producción de PST se incrementó con la aplicación de riego en 84% (Tabla 5), sin diferencias entre espaciamientos (interacción riego x espaciamiento no significativa en ambos años). En ambas campañas, la cobertura de rastrojo a la siembra no afecto el PST generado por el cultivo trigo ($P > 0,05$; Tabla 5).

3.4.2. Sistemas trigo puro, sorgo puro y sorgo intersembrado en trigo

La producción de PST del sorgo puro fue muy superior a la de trigo ($P \leq 0,05$; Tabla 5), en promedio de ambas campañas 204% superior al del tratamiento de trigo más típico (secano con rastrojo simple, espaciado 17 cm). En la primer campaña el sorgo intersembrado produjo 37% menos PST que el sorgo puro ($P \leq 0,05$; Tabla 5), mientras que en la segunda campaña la reducción en la producción de PST fue 16% ($P < 0,05$; Tabla 5).

Las diferencias en producción de PST entre sistemas (i.e. trigo puro, sorgo puro y trigo con sorgo intersembrado) fueron estadísticas significativas en ambos años de estudios ($P \leq 0,05$; Tabla 5). La producción de PST del sistema trigo con sorgo intersembrado, promedio de ambas campañas, fue 186% mayor al del trigo de referencia y 8% menor al del sorgo puro.

Tabla 5. Efecto del espaciamiento de los surcos y la cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, sobre el peso seco total producido a madurez por unidad de superficie (PST), el índice de cosecha (IC), peso seco de rastrojo (PSR) y para los cultivos de trigo, sorgo y el sistema sorgo intersembrado en trigo, en Manfredi, Córdoba, para las campañas 2008/09 y 2009/10. Cada valor representa la media de tres repeticiones.

Cultivo	Espac. (cm)	Rast.	Riego	PST 2008/09	PST 2009/10	IC. 2008/09	IC 2009/10	PSR 2008/09	PSR 2009/10
				(tn ha ⁻¹)		(%)		(tn ha ⁻¹)	
Trigo	17	Simple	No	6,26	6,65	39,8	32,7	3,76	4,47
	35	Simple	No	5,73	6,09	38,6	32,0	3,52	4,14
	70	Simple	No	4,12	3,15	39,2	31,0	2,51	2,16
	17	Doble	No	6,76	7,08	38,9	29,7	4,12	5,03
	35	Doble	No	5,11	5,13	39,7	29,4	3,08	3,63
	70	Doble	No	4,37	3,91	40,0	27,4	2,62	2,85
	17	Simple	Si	12,85	13,53	38,5	29,2	7,93	9,62
	35	Simple	Si	7,61	8,92	38,7	31,9	4,68	6,07
	70	Simple	Si	8,25	6,82	38,1	25,8	5,11	5,06
Media para espaciamiento									
Trigo	17			8,62	9,09	39,0	30,6	5,27	6,37
	35			6,15	6,71	39,0	31,1	3,76	4,61
	70			5,58	4,63	39,1	28,1	3,41	3,36
Medias para rastrojo y riego									
Trigo		Simple	No	5,37	5,30	39,2	31,9	3,26	3,59
		Doble	No	5,41	5,37	39,6	28,8	3,28	3,84
		Simple	No	5,37	5,30	39,17	31,9	3,26	3,59
		Simple	Si	9,57	9,76	38,41	29,0	5,90	6,92
Sorgo				19,05	21,07	26,7	37,3	13,99	12,26
Sorgo inter.				12,00	17,61	27,9	41,9	8,70	10,29
Trigo + Sorgo inter.				16,12	20,76	30,8	40,3	11,20	12,44
Significancia del ANVA									
Trigo	Espac. (E)			*	*	ns	ns	*	*
	Rastrojo (P)			ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Riego (R)			*	*	ns	ns	*	*
	E x R			ns	ns	ns	ns	ns	ns
	E x P			ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sorgo Sistema	(puro vs.inter.)			*	ns	ns	ns	*	ns
				*	*	*	*	*	*
MDS									
Trigo	E			1,5	1,4	2,1	2,7	1,07	1,05
	P			1,3	1,6	1,3	4,9	0,76	1,25
	R			1,9	1,8	0,8	4,4	1,22	1,38
	P para igual E			2,3	2,8	2,2	8,5	1,31	2,16
	P. para cualquier E			1,7	3,0	2,3	7,1	0,98	2,33
	R para igual E			3,3	3,1	1,5	7,6	2,11	2,38
	R para cualquier E			3,0	2,5	2,7	7,6	1,99	1,95
Sorgo ^a				1,8	9,3	5,5	10,2	1,61	11,04
Sist. ^b				2,4	2,9	2,6	5,6	1,84	2,65

* indica diferencias significativas (P≤0,05); ns indica diferencia no significativa (P>0,05), según el test de F del ANVA. MDS: mínima diferencia significativa (P≤0,05). ^a MDS para comparar sorgo puro vs. sorgo intersembrado. ^b MDS para comparar trigo puro, sorgo puro y trigo + sorgo intersembrado.

3.5. Aporte de rastrojo y de biomasa al suelo

Como aproximación se consideró que el aporte de biomasa al suelo estuvo constituido por el peso seco rastrojo del cultivo (Ec. [7]). A su vez, la producción PSR se puede analizar como:

$$\text{PSR} = \text{PST} (1 - \text{IC}) \quad \text{Ec. [12]}$$

3.5.1. Sistemas trigo puro, sorgo puro y sorgo intersembrado en trigo

De acuerdo con la Ec. [12] es de esperar que el PSR sea una consecuencia directa de la producción de PST, a un dado IC. En la sección 3.3 se mencionó la estabilidad que presentó el IC a través de los tratamientos estudiados, por lo cual no sorprende que el PSR se haya relacionado linealmente con el PST (Fig. 6).

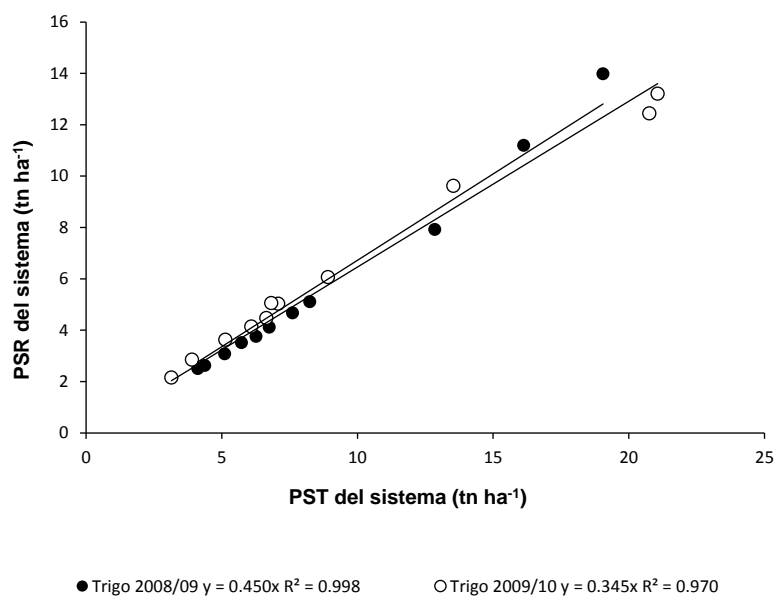


Fig. 6. Relación entre el peso seco del rastrojo y el peso seco total del cultivo a madurez para trigo a través de tres espaciamiento de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo, con y sin riego, y sorgo puro o intersembrado en trigo, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. El término independiente de las relaciones no fue significativo.

El PSR generado por el cultivo de trigo a madurez en los dos años de ensayo presento diferencias significativas ($P \leq 0,05$; Tabla 5) en cuanto al espaciamiento y el riego. En secano, el PSR se redujo 17 y 41% al aumentar el espaciamiento de 17 cm a 35 y 70

cm respectivamente, mientras que la reducción del PSR con riego fue 39 y 41% al aumentar el espaciamiento. La producción de PSR se incrementó con la aplicación de riego en 187% (promedio para ambas campañas, Tabla 5), sin diferencias entre espaciamientos (interacción riego x espaciamiento no significativa en ambos años). En ninguna de las dos campañas, la cobertura de rastrojo a la siembra afectó el PSR generado por el cultivo trigo ($P>0,05$; Tabla 5).

La producción de rastrojo del sorgo puro fue muy superior a la de trigo ($P\leq 0,05$; Tabla 5), siendo el promedio de ambas campañas 319% superior al del tratamiento de trigo más típico (secano con rastrojo simple, espaciado 17 cm). En la primera campaña el sorgo intersembrado produjo 38% menos rastrojo que el sorgo puro generando una diferencia estadísticamente significativa ($P\leq 0,05$; Tabla 5), mientras que en la segunda campaña la reducción en la producción de rastrojo fue numéricamente (16%) menor pero estadísticamente no significativa ($P>0,05$; Tabla 5).

Las diferencias en el PSR generado entre sistemas (i.e. trigo puro, sorgo puro, trigo + sorgo intersembrado) fueron estadísticas significativas en ambos años de estudios ($P\leq 0,05$; Tabla 5). El aporte del rastrojo del sistema trigo + sorgo intersembrado, promedio de ambas campañas, fue 10% menor al del sorgo puro.

3.6. Economía del agua

La economía del agua se analizó a partir del C del cultivo, considerado como la suma de E y T, y de las correspondientes eficiencias para producir PST (EUA_c y EUA_t)

3.6.1. Consumo de agua, evaporación y transpiración

En ambos años, el C del cultivo de trigo por unidad longitudinal de surco (i.e. mm m^{-1}) a madurez aumentó marcadamente con el espaciamiento (Fig. 7). Sin riego el aumento promedio respecto del espaciamiento de 17 cm fue 101% al aumentar el espaciamiento a 35 cm y 266% al aumentarlo a 70 cm; con riego el aumento con el espaciamiento fue de 96% y 295% respectivamente. Sin embargo, el C por unidad de superficie (mm) presentó un patrón diferente (Fig. 8). En la campaña 2008/09, ni el espaciamiento de surcos ni la cobertura de rastrojo afectaron el C acumulado de trigo a madurez (Fig. 8). Por su parte, en la campaña 2009/10 el efecto del espaciamiento resultó significativo ($P\leq 0.01$, Fig. 8), con espaciamiento de 17 cm el C resultó 4 y 19% mayor

que a 35 y 70 cm respectivamente. Con riego hubo aumento de C en ambos años, 92 y 79% en el primer y segundo año, respectivamente (Fig. 8). En ninguno de los experimentos hubo interacción espaciamiento x cobertura significativa para C.

En el espaciamiento de 70 cm, donde se midió el C tanto en el entresurco como en el surco, en ambos años se encontró que el C en el entresurco fue 19 y 29 mm menor al del surco en 2008/09 y 2009/10 respectivamente, si bien en 2008/09 la diferencia no fue estadística ($P>0,05$). En consecuencia, considerando todos los tratamientos, el C en el entresurco tendió a ser decreciente a medida que se incrementó el espaciamiento de 17 a 70 cm (Fig. 9) sin y con riego, si bien la diferencia no resultó estadísticamente significativa ($P>0,05$) en riego durante la campaña 2009/10. En consecuencia, la diferencia de C entre surco-entresurco de la campaña 2009/10 (29 mm) explican la mayor parte de la diferencia de C entre 17 y 70 cm (39 mm, quedando 10 mm sin explicar).

En el año 2008/09, la E no varió entre los tratamientos de secano, pero con riego la misma creció a medida que se incrementó el espaciamiento de los surcos ($P\leq 0,05$; Fig. 10). No sucedió lo mismo en el año 2009/10 donde la E fue similar en los distintos tratamientos ($P>0,05$; Fig. 10). En definitiva, los cambios en E no causaron cambios importantes en la relación T/C la cual no presentó diferencias estadísticas para los espaciamientos analizados ($P>0,05$).

La T tuvo un comportamiento similar al descrito para C, de hecho, C se asoció más estrechamente con la T en ambos años ($R^2=0,99$ en ambos años, $gl=7$, $P\leq 0.001$) que con la E (R^2 0,88 y 0,43 para 2008/09 y 2009/10 respectivamente).

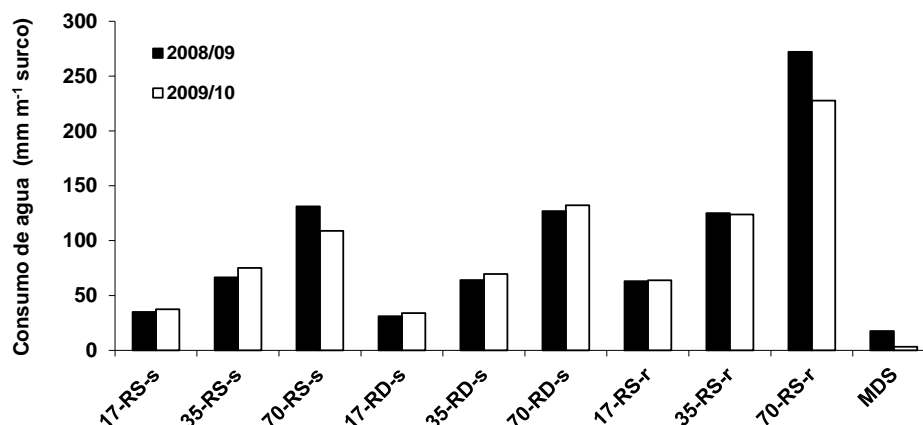


Fig. 7. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre la cantidad de agua consumida hasta madurez por unidad longitudinal de surco. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.

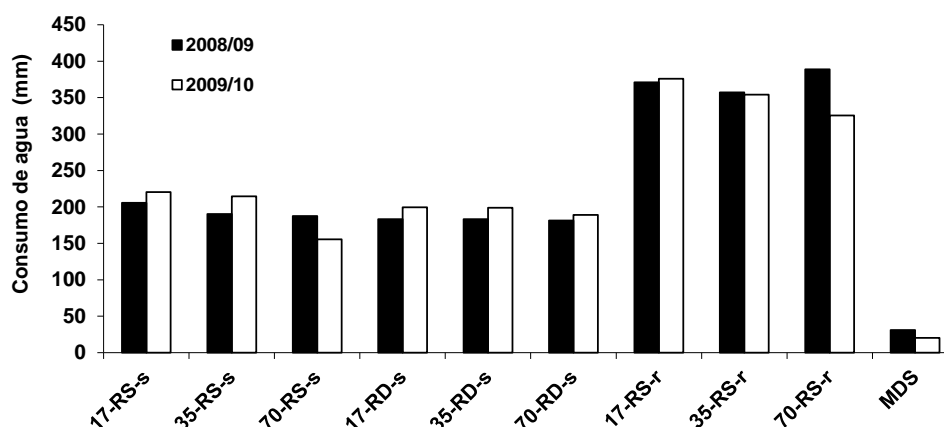


Fig. 8. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (DR), con (r) y sin (s) riego, sobre el consumo de agua acumulado desde emergencia hasta madurez en el cultivo trigo. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.

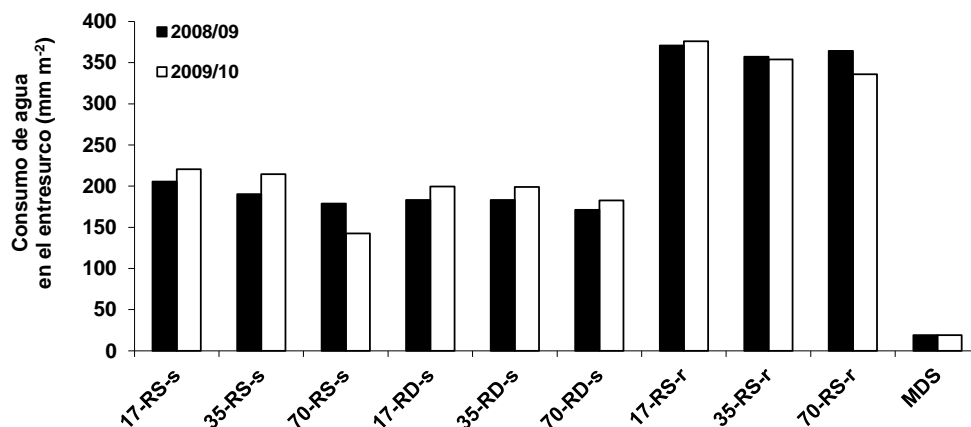


Fig. 9. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra (simple y doble), con (r) y sin (s) riego, sobre el consumo de agua en el entresurco acumulado desde emergencia hasta madurez en el cultivo trigo. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.

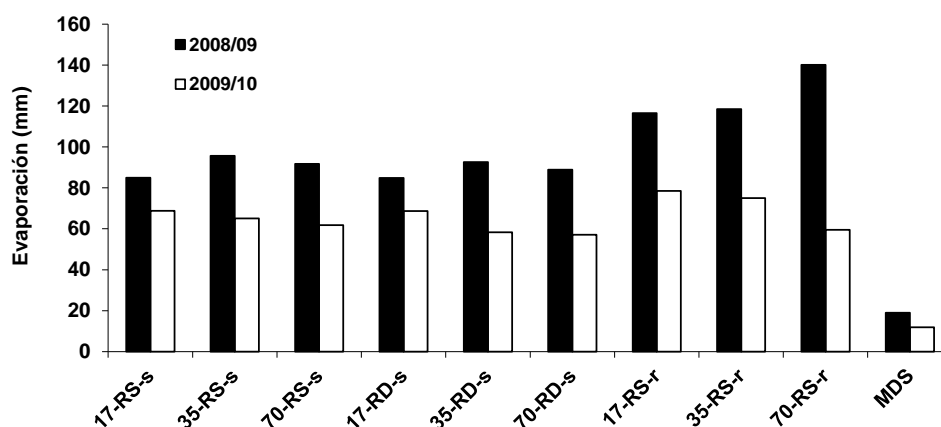


Fig. 10. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego sobre la cantidad de agua evaporada acumulada desde emergencia hasta madurez en el cultivo trigo, Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamientos.

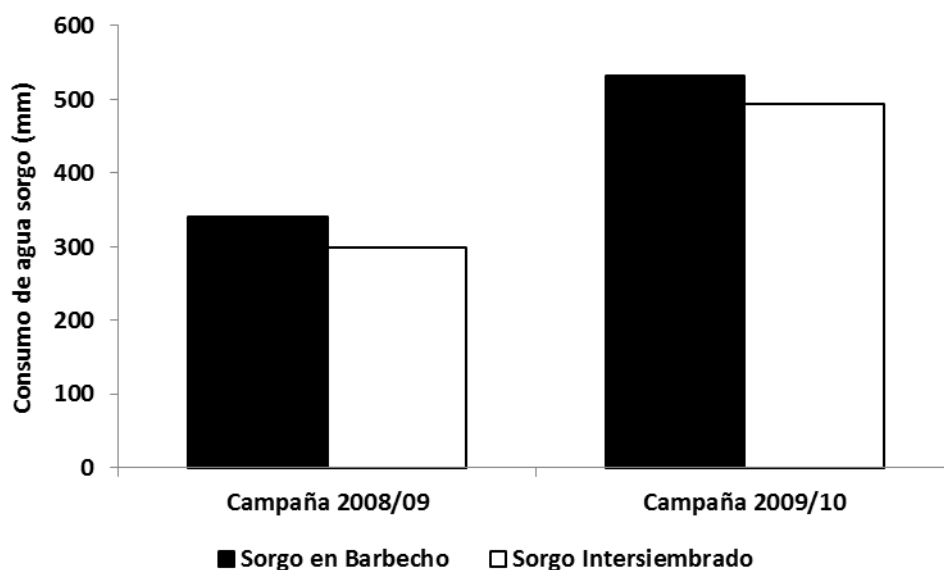


Fig. 11. Consumo de agua desde emergencia hasta madurez en el cultivo de sorgo puro y sorgo intersembrado en trigo, para las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS para comparar tratamientos dentro de un mismo año: 6 mm para la campaña 2008/09 y 28 mm para la campaña 2009/10.

3.6.1. Eficiencia de uso del agua

3.6.1.1. Trigo

La EUA_c para producir PST a madurez en trigo, se comportó igual en ambos años (Fig. 12), fue decreciente a medida que se incrementó el espaciamiento de 17 a 70 cm, lo mismo sucedió cuando lo analizamos por surco. Ni el efecto de la cobertura rastrojo, ni el del riego, ni la interacción espaciamiento x cobertura resultaron estadísticamente significativos. En secano, la EUA_c se redujo 16 y 35% al aumentar el espaciamiento de 17 cm a 35 y 70 cm respectivamente, mientras con riego la reducción fue 34 y 40 al aumentar el espaciamiento.

La EUA_t se asoció estrechamente con la EUA_c (en secano: R^2 0,84 y 0,93 para 2008/09 y 2009/10, $P < 0,01$; con riego: R^2 0,99 y 1,00 para 2008/09 y 2009/10, $P < 0,01$, término independiente no significativo). No hubo asociación entre el C y la EUA_t , pero se pudo observar (Fig. 13) una fuerte asociación entre el PST de todos los espaciamientos en ambas coberturas de rastrojo para ambas campañas y la EUA_t , diferenciando solamente los tratamientos de riego y secano.

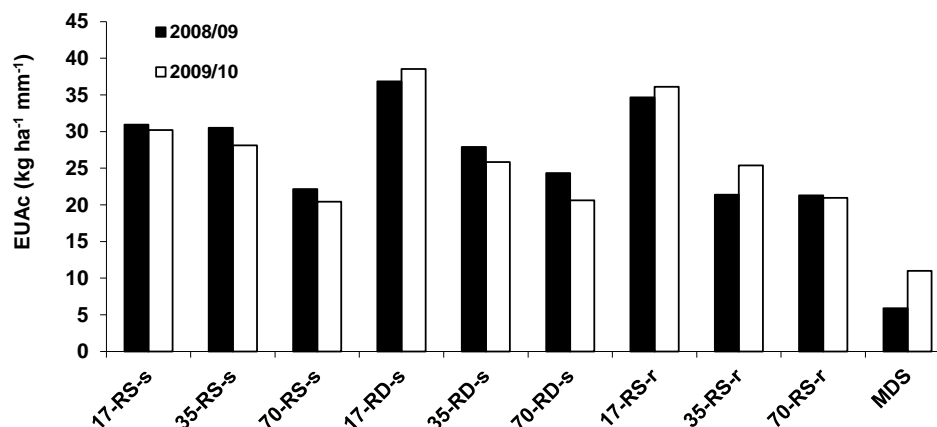


Fig. 12. Efecto del espaciamento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre la eficiencia de uso del agua consumida para producir peso seco en trigo. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparas espaciamentos.

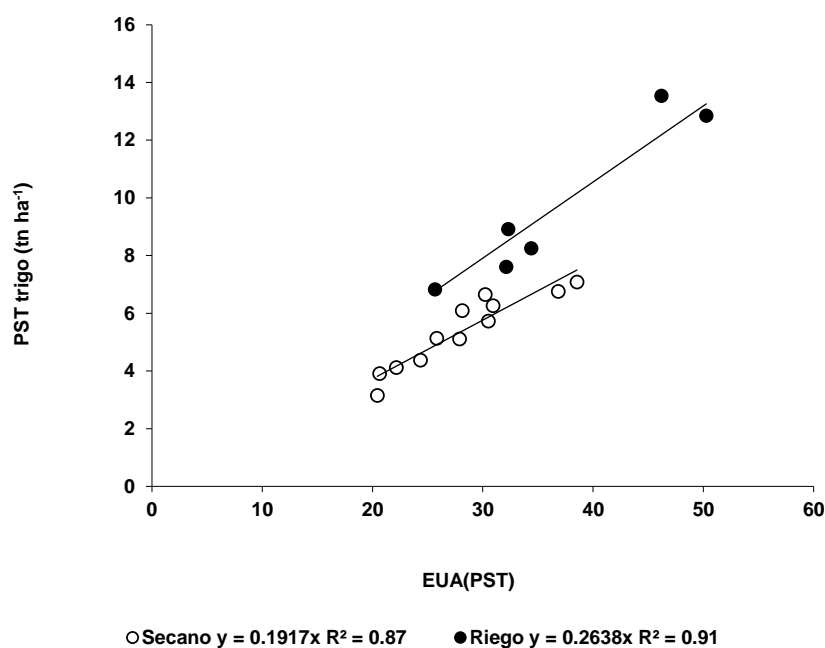


Fig. 13. Relación entre la eficiencia de uso de agua del peso seco total y el peso seco total del cultivo a madurez para trigo a través de tres espaciamentos de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo, con y sin riego, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. Los cuadrados negros corresponden a los datos de secano de ambas campañas y los cuadrados blancos corresponden a los datos de riego para ambas campañas.

3.6.1.2. *Sorgo*

En la campaña 2009/10 la EUA_c del tratamiento de sorgo puro fue 63% inferior a la de la campaña 2008/09 (Fig. 14), mientras que la diferencia para el sorgo intersembrado fue 41%. Además, en la campaña 2008/09 el sorgo puro fue 63% más eficiente que el sorgo intersembrado, mientras que la diferencia para la campaña 2009/10 fue solamente 3% (Fig. 14).

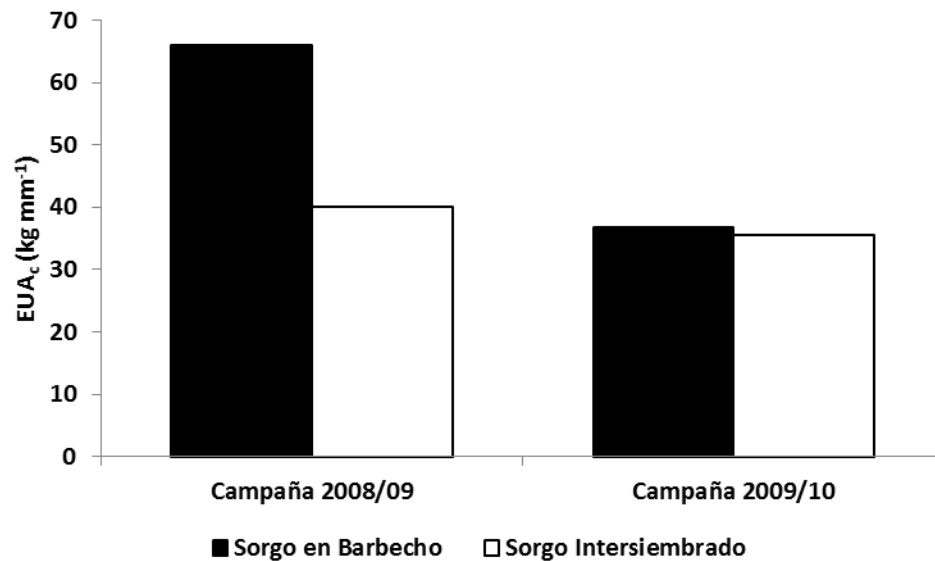


Fig. 14. Eficiencia en el uso del agua consumida (EUA_c) para producir peso seco, hasta madurez con sorgo puro y sorgo intersembrado en trigo, para ambas campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS para comparar tratamientos dentro de un mismo año: 24 kg/mm para la campaña 2008/09, diferencias no significativas para la campaña 2009/10.

3.7. Economía de la radiación

El PST del cultivo puede analizarse como el producto entre la RFA_i y la EUR.

Dado que la diferencia en la RFA_0 entre tratamientos de trigo fue mínima, las diferencias de RFA_i tuvieron su origen en f (Ec. [5]). En ambas campañas hubo una reducción en la RFA_i al aumentar el espaciamiento (Fig. 15) la cual resultó mayor en la campaña 2009/10. Al aumentar el espaciamiento de 17 a 35 cm en secano, la RFA_i se redujo 4 y 7% en la campaña 2008/09 y 2009/10 respectivamente. Cuando el espaciamiento se aumentó a 70 cm la reducción alcanzó 15 y 37% en 2008/09 y 2009/10. Con riego la diferencia de RFA_i entre campañas fue baja, en promedio la RFA_i se redujo

14% al aumentar el espaciamiento de 17 a 35 cm, mientras que con 70 cm la caída fue 21%.

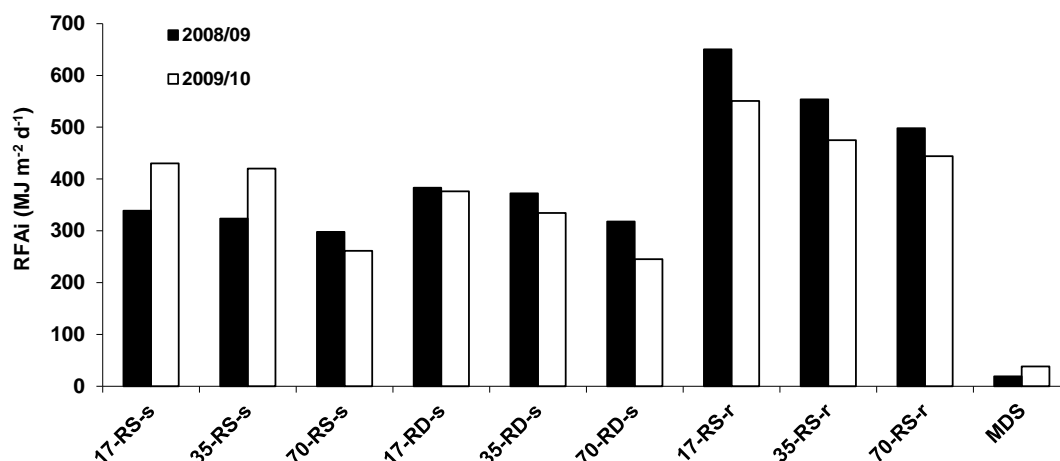


Fig. 15. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo de trigo. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparar espaciamientos.

Las diferencias en la RFA_i se debieron principalmente a diferencias en el IAV, dado que el IAV estuvo por debajo del valor crítico para alcanzar el 90% de la RFA_0 (Fig. 16). En ambos años el IAV se redujo al aumenta el espaciamiento y no fue afectado por el nivel de cobertura de rastrojo. El riego produjo un aumento promedio del IAV de 2,8 y 2,0 veces en las campañas 2008/09 y 2009/10 respectivamente (Fig. 16). A su vez, el IAV en la campaña 2008/09 resultó más bajo que en el 2009/10 en todos los tratamientos.

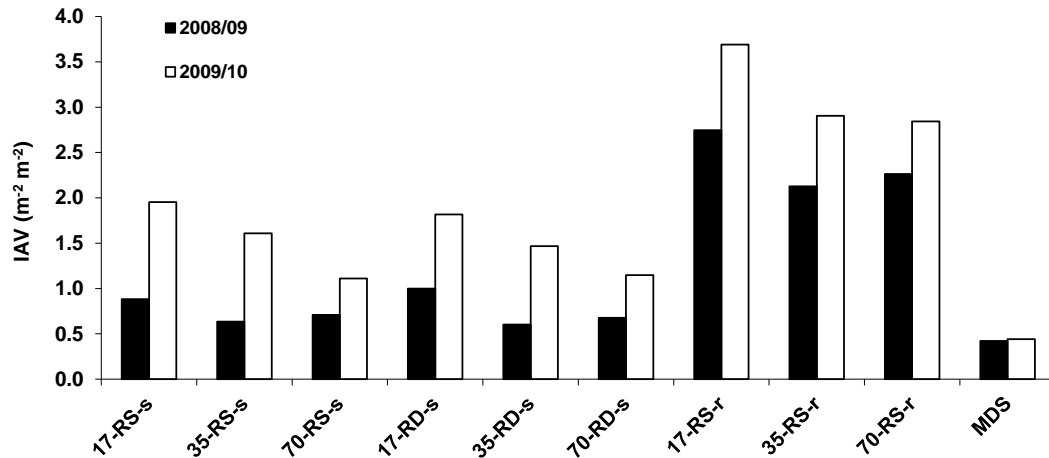


Fig. 16. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra simple (RS) y doble (RD), con (r) y sin (s) riego, sobre el índice de área verde (IAV) de trigo al inicio del llenado del grano. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, en Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparar espaciamientos.

A través de todos los tratamientos y años, el PST de trigo se asoció más con la RFA_i (R^2 0,93 y 0,95 para 2008/09 y 2009/10 respectivamente; $gl=7$; $P \leq 0,001$; Fig. 17) que con la EUR (R^2 0,70 y 0,74 para 2008/09 y 2009/10 respectivamente; $P \leq 0,05$; Fig. 18).

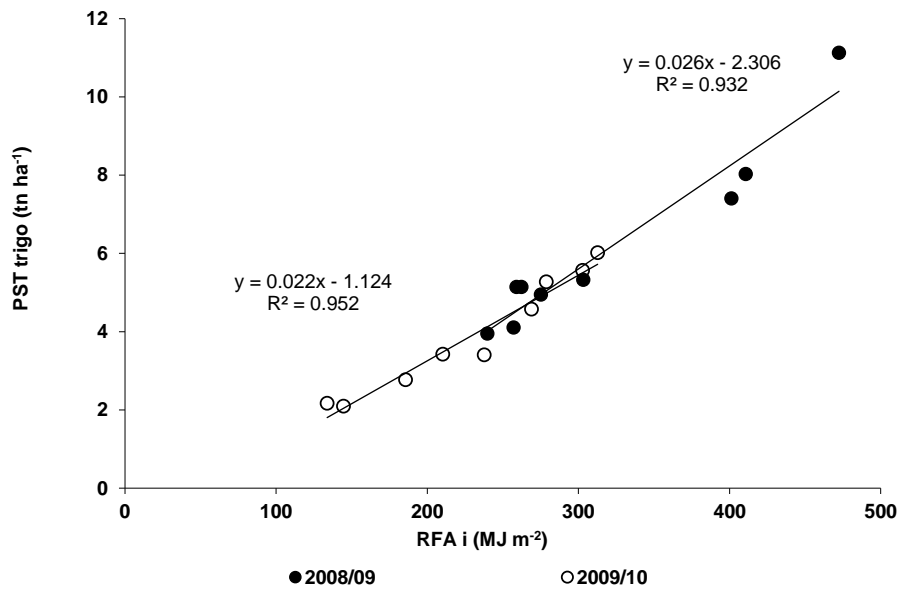


Fig. 17. Relación entre peso seco total del cultivo de trigo a madurez para trigo a través de tres espaciamientos de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, y la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba.

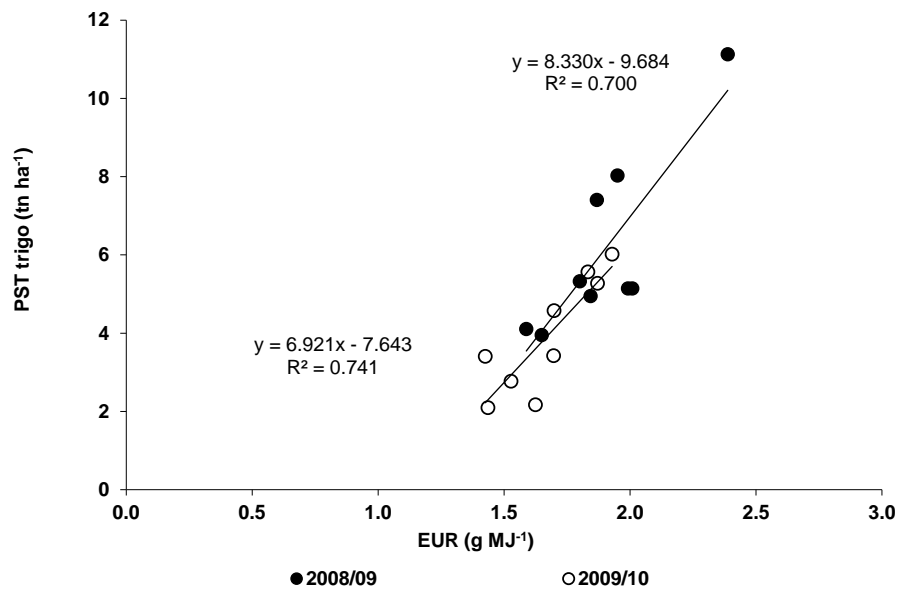


Fig. 18. Relación entre peso seco total del cultivo a madurez para trigo a través de tres espaciamientos de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, y la eficiencia de uso de la radiación para producir peso seco, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba.

La EUR (Fig. 19) disminuyó con el aumento del espaciamiento en ambas campañas. En seco, la EUR se redujo 9 y 15% al aumentar el espaciamiento de 17 cm

a 35 y 70 cm respectivamente, mientras que la reducción de la EUR con riego fue 15 y 17% al aumentar el espaciamiento de 17 cm a 35 y 70 cm. La cobertura de rastrojo no produjo cambios en la EUR ($P>0,05$).

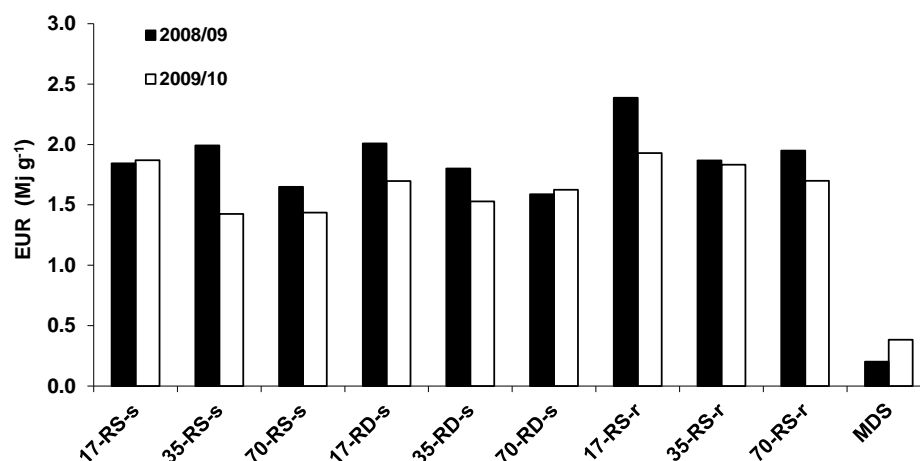


Fig. 19. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) y la cobertura de rastrojo a la siembra (simple y doble), con (r) y sin (s) riego en trigo, sobre la eficiencia de uso de la radiación para producir peso seco, hasta madurez. Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, Manfredi, Córdoba. MDS: mínima diferencia significativa para comparar espaciamientos.

Se encontró una asociación entre la EUR y IAV por planta (Fig. 20); así, los tratamientos espaciados de 17 cm mostraron mayor EUR que los espaciados a 70 cm.

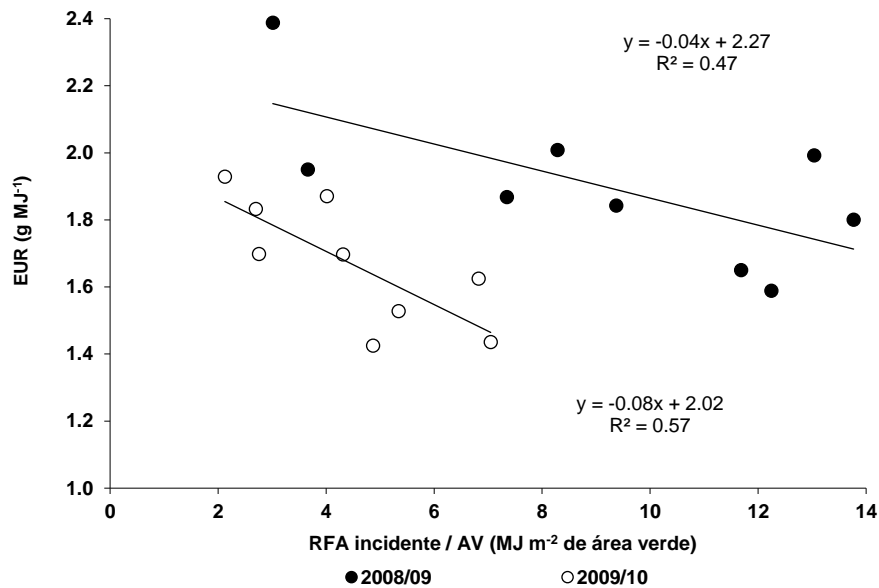


Fig. 20. Relación entre la eficiencia de uso de la radiación del cultivo para producir peso seco, y la radiación fotosintéticamente activa incidente por unidad de superficie de área verde, a través de tres espaciamientos de surco, dos niveles de cobertura de rastrojo a la siembra, con (r) y sin (s) riego, en las campañas 2008/09 y 2009/10, en Manfredi, Córdoba.

3.8. Margen Bruto

3.8.1. Trigo

En ambos años se observó una diferencia estadística en el margen bruto a favor del trigo espaciado 17 cm respecto de espaciamientos mayores (Tabla 6, Fig. 21); esta diferencia fue más notable cuando el ciclo de cultivo fue más seco (campaña 2009/10). En secano, el margen bruto se redujo 24 y 56% al aumentar el espaciamiento de 17 cm a 35 y 70 cm respectivamente, mientras que la reducción del margen bruto con riego fue de 51% y 65% al aumentar el espaciamiento de 17 cm a 35 y 70 cm.

3.8.2. Sorgo

En la campaña 2008/09 se encontró una caída en el margen bruto del sorgo intersembrado respecto del normal de 226 U\$ ha⁻¹ (44%) ($p \leq 0,05$; Tabla 6), esta caída no se dio en la segunda campaña ($P > 0,05$) siendo solamente de 69 U\$ ha⁻¹ (8%) a favor del

sorgo puro (Tabla 6). Por otra parte, el margen bruto del cultivo sorgo en la campaña 2009/10 ($362 \text{ U\$ ha}^{-1}$ 71%) fue muy superior al de la campaña 2008/09.

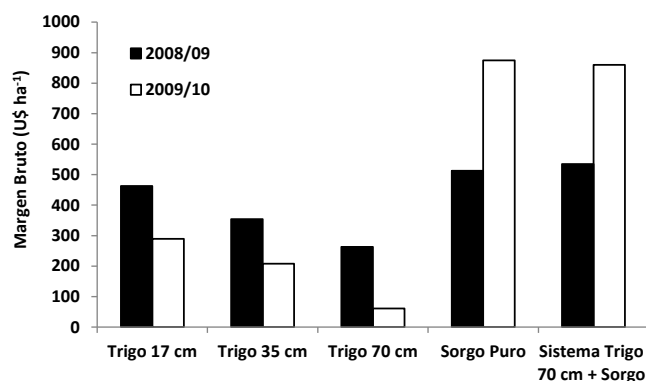


Fig. 21. Efecto del espaciamiento de los surcos (17, 35 y 70 cm) de trigo y la intersembra de sorgo sobre el margen bruto de cada sistema (datos promedio de dos niveles de cobertura de rastrojo). Las barras oscuras corresponden a la campaña 2008/09 y las claras a la campaña 2009/10, Manfredi, Córdoba. Las mínimas diferencias significativas se presentan en la Tabla 6.

3.8.3. Sistemas trigo, sorgo y sorgo intersembrado en trigo

Durante la campaña 2008/09, el sistema que maximizó el margen bruto, fue el espaciamiento de trigo de 70 cm intersembrado con sorgo, el cual presentó un valor de $535 \text{ U\$ ha}^{-1}$. El máximo margen bruto de la campaña 2009/10 correspondió al sorgo puro (con barbecho previo) alcanzando $875 \text{ U\$ ha}^{-1}$ (Tabla 6, Fig. 21), siendo $69 \text{ U\$ ha}^{-1}$ (8%) superior al de trigo con sorgo intersembrado y 39% mayor al del mejor sistema de la campaña 2008/09 (Tabla 6, Fig. 21).

En esta tesis si bien no se analizó el cultivo de soja, se llevó a cabo el cálculo de margen bruto para una soja de primera teniendo la misma información que se manejó para llevar adelante los cálculos para trigo y sorgo. En el caso de soja de primera pudimos ver que en el año 2008/09 el margen bruto presentó un valor de $531 \text{ U\$ ha}^{-1}$, mientras que para la campaña de 2009/10 el margen bruto alcanzó un valor de $690 \text{ U\$ ha}^{-1}$.

Estos valores nunca superaron al margen bruto del sistema, en la campaña 2008/09 si bien los valores de margen bruto fueron similares, mientras que en la campaña 2009/10 el cultivo de soja de primera presentó un margen bruto 20% inferior respecto del sistema trigo-sorgo.

Tabla 6. Efecto del espaciamiento de los surcos, la cobertura de rastrojo a la siembra, con y sin riego, sobre el margen bruto (MB) expresado en dólares americanos constantes (U\$ ha⁻¹) para los cultivos de trigo, sorgo y el sistema sorgo intersembrado en trigo, en Manfredi, Córdoba, para las campañas 2008/09 y 2009/10. Cada valor representa la media de tres repeticiones.

Cultivo	Espac.	Rast.	Riego	MB 2008/09	MB 2009/10
	(cm)			(U\$ ha ⁻¹)	
Trigo	17	Simple	No	434	303
	35	Simple	No	373	256
	70	Simple	No	248	54
	17	Doble	No	463	276
	35	Doble	No	334	160
	70	Doble	No	277	67
	17	Simple	Si	591	666
	35	Simple	Si	175	444
	70	Simple	Si	219	216
Media para espaciamiento					
Trigo	17			496	415
	35			294	287
	70			248	113
Medias para rastrojo y riego					
Trigo		Simple	No	352	204
		Doble	No	358	168
		Simple	No	352	204
		Simple	Si	328	442
Sorgo				513	875
Sorgo inter.				286	806
Trigo + Sorgo inter.				535	860
Significancia del ANVA					
Trigo	Espac. (E)			*	*
	Rastrojo (P)			ns	ns
	Riego (R)			ns	*
	E x R			ns	ns
	E x P			ns	ns
Sorgo	(puro vs.inter.)			*	ns
Sistema				*	*
MDS					
Trigo	E			93	93
	P			121	89
	R			146	109
	P para igual E			209	155
	P. para cualquier E			155	171
	R para igual E			253	189
	R para cualquier E			218	168
Sorgo ^a				80	342
Sist. ^b				152	151

* indica diferencias significativas (P≤0,05); ns indica diferencia no significativa (P>0,05), según el test de F del ANVA. MDS: mínima diferencia significativa (P≤0,05). ^a MDS para comparar sorgo puro vs. sorgo intersembrado. ^b MDS para comparar trigo puro, sorgo puro y trigo + sorgo intersembrado.

	U\$/ha	U\$/ha	U\$/ha	U\$/ha	U\$/ha	U\$/ha
Campaña	Costo del riego Trigo	Costo fertilizante Trigo	Costo fertilizante Sorgo	Semilla Trigo	Semilla Sorgo	Total
2008/09	350.0	152.0	110.0	25.1	32.4	669.5
2009/10	260.0	64.0	110.0	25.1	32.4	491.5

4. DISCUSIÓN

4.1. Frecuencia de lluvias de Manfredi

4.1.1. *Durante el cultivo de trigo*

En el área Manfredi (centro de la provincia de Córdoba), durante otoño, luego de la cosecha del cultivo antecesor, es cuando se acumula el agua del suelo para el cultivo de trigo y de esto depende principalmente el rendimiento del cultivo trigo, ya que durante el ciclo las lluvias son escasas hasta mediados de octubre, cuando ocurre el período crítico. En la primera campaña en estudio (2008/09) las precipitaciones acumularon 322 mm en el periodo de barbecho comprendido entre el 1-feb y 31-may-2008 (Tabla 2). Solamente en el 31% de los años de la serie 1931-2010, se acumuló mayor cantidad de lluvias durante ese período. Esa cantidad de lluvia supera la capacidad de almacenaje de agua que tiene un suelo típico de la zona (300 mm); la frecuencia con que ello ocurre es de 39%. Por su parte, en la segunda campaña (2009/10) se acumularon 181 mm de precipitaciones, la frecuencia de años en que se acumuló esa cantidad de lluvia o menor fue del 14% (serie 1931-2010). Queda claro entonces, que mientras la acumulación de agua en la primera campaña resultó mayor a lo habitual, la segunda campaña fue atípica por la escasez de precipitaciones para recargar el agua del suelo previo a la siembra de trigo.

Durante el ciclo del cultivo trigo se computaron las precipitaciones desde 1-jun a 31-oct, En la primera campaña se acumularon 146 mm durante esa etapa, correspondiendo una frecuencia de 59% de acumular esa cantidad de agua o menor. En el segundo año de estudio se acumularon 68 mm de precipitaciones que alcanzaron una frecuencia de ocurrencia del evento de 13%.

La frecuencia de años en que las lluvias en Manfredi (sumando las del barbecho y las del ciclo de crecimiento) superan un requerimiento promedio de evapotranspiración potencial de trigo de 550 mm, es 6%.

Este análisis permite ver que la primera campaña estudiada fue más normal que la segunda; la menor disponibilidad hídrica durante la segunda campaña explicaría el menor rendimiento del cultivo de trigo en secano es esta última. Además, este análisis permite ver que en Manfredi, habitualmente el trigo tiene deficiencia hídrica.

4.1.2. Durante el cultivo de sorgo

Para evaluar la disponibilidad de precipitaciones durante el cultivo de sorgo, en el tratamiento de sorgo puro sembrado con barbecho, se tuvo en cuenta el periodo 1-ago a 30-nov previo a la implantación del cultivo. Las precipitaciones acumuladas en ese período fueron 239 y 92 mm para la primera y segunda campaña respectivamente. Entre los años 1931-2010, esas cantidades de lluvia o menores ocurrieron en el 66 y 8% de los años, respectivamente para cada campaña en estudio. A lo largo del ciclo del cultivo (considerado entre el 1-dic y el 28-feb) se registraron 208 y 563 mm de precipitaciones para la primer y segunda campaña respectivamente. Estas cantidades o menores tienen una frecuencia de ocurrencia del 15 y 96% respectivamente para cada año de estudio.

En Manfredi, durante el ciclo de crecimiento del sorgo, la lluvia esperable en el 50% de los años es 334 mm. Esa cantidad de precipitaciones representa un 12% de deficiencia para un sorgo con requerimiento promedio de evapotranspiración potencial de 380 mm.

De esta manera es indudable que entre ambas campañas en estudio existió gran diferencia en disponibilidad de lluvias que refleja la variación con las que puede contar el cultivo sorgo durante su ciclo en Manfredi.

4.2. Rendimiento en grano

En este estudio se encontró que el RTO del cultivo de trigo presento un patrón de disminución de RTO ($P \leq 0,05$; Tabla 3) a medida que aumentó el espaciamiento de 17 cm a 35 y 70 cm para ambas campañas 2008/09 y 2009/10.

En la Fig. 22 se resumen varios de los trabajos previos que evaluaron RTO con diferentes espaciamientos en el cultivo de trigo. Blackwell et al. (2006) encontró un 30% de incremento de RTO aumentando el espaciamiento de 30 cm a 60 cm en secano, esta diferencia la adjudico al diferimiento del consumo de agua hasta etapas de llenado de granos en los tratamientos más espaciados, en suelos poco profundos que presentaron menor estrés y mejor llenado de granos. French y Harries (2006) observo una respuesta similar, pero en el cultivo de lupino. Sin embargo, esos resultados corresponden a situaciones con niveles de RTO de trigo muy por debajo de los obtenibles en Argentina. Kleemann y Gurjeet (2008) en ambientes de escasas de agua útil para el cultivo y RTO

promedio de 2.5 tn ha^{-1} , encontró que la caída de RTO al espaciar las líneas de siembra era poco significativa.

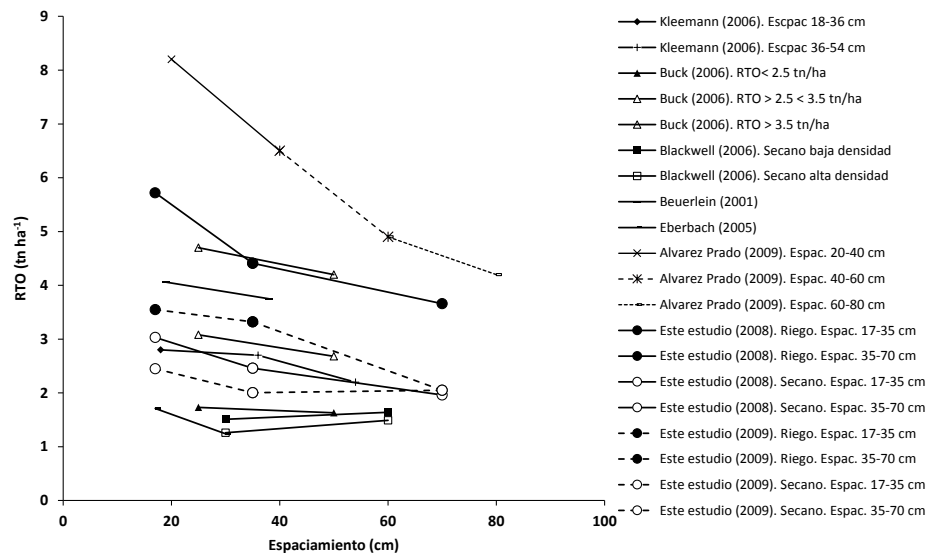


Fig. 22. Respuesta encontrada por diferentes autores en rendimiento de grano de trigo al variar el espaciar los surcos de siembra.

Buck et al. (2006) observó que cuando el RTO superó 2.5 tn ha^{-1} hubo una caída más brusca al espaciar las hileras de siembra, algo similar a lo que nos muestra la Fig. 22 donde se incluyen datos de diversos investigadores de diferentes partes del mundo. A partir de los datos de la Fig. 22 se encontró una estrecha relación entre la caída de RTO al aumentar el espaciamento en función del rendimiento con el menor espaciamento, la cual confirma la importancia del nivel de RTO de referencia. Según esa relación, por arriba de 1.5 tn ha^{-1} es de esperar caída de RTO al aumentar el espaciamento. Así, para el RTO promedio obtenido en este estudio con espaciamento de 17 cm en secano (2.7 tn ha^{-1}), según la Fig. 23 es de esperar una caída de RTO de 15 kg por cada cm de aumento en el espaciamento, mientras que con riego (RTO de referencia 5.1 tn ha^{-1}) es de esperar una caída de $79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. En definitiva, según la Fig. 23, sería esperable encontrar caída de RTO de trigo al aumentar el espaciamento en la mayor parte de las situaciones productivas argentinas. Sin embargo, cuando el RTO es bajo y por lo tanto la caída de RTO al aumentar el espaciamento no es grande, resulta razonable realizar un cultivo intersechado tal como se propuso en esta tesis.

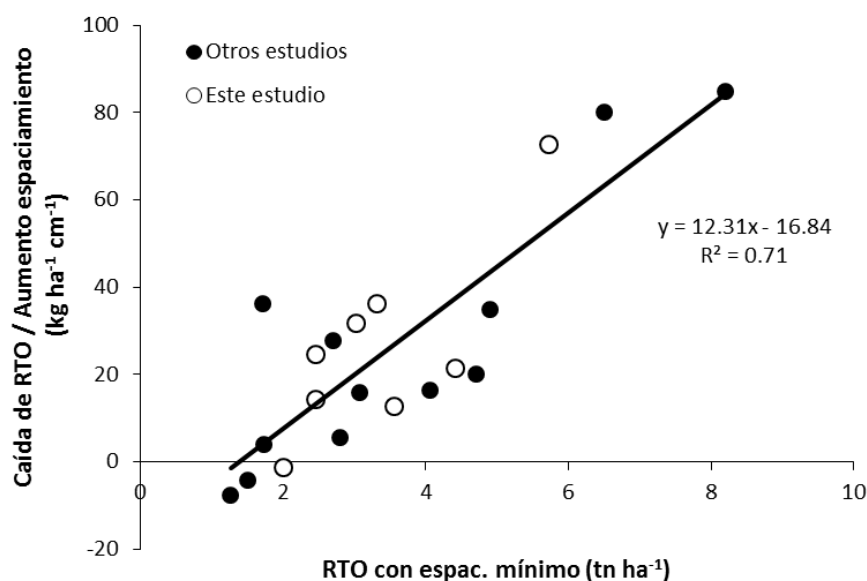


Fig. 23. Relación entre la caída de rendimiento por unidad de aumento en el espaciamiento de los surcos de siembra, en función del rendimiento obtenido con el menor espaciamiento, construida a partir de los datos de la Fig. 22.

Tanto el RTO de cada cultivo individual como el del sistema trigo-sorgo se analizó según el enfoque de Donald y Hamblin (1976), esto es,

$$\text{RTO} = \text{PST} \cdot \text{IC} \quad \text{Ec. [13]}$$

El rendimiento mostró una fuerte asociación con el PST a cosecha en ambas campañas ($R^2=0,98$; Fig. 4). Esta es una típica respuesta de trigo al arreglo y densidad de siembra (Puckridge y Donald, 1967; Fischer et al., 1976; Darwinkel, 1978). Dada la estabilidad en el índice de cosecha ante variaciones del espaciamiento entre surcos (Tabla 5), y la escasa variación en la EUR (Fig. 19) la capacidad de generar biomasa a través de una mayor intercepción RFA_i , (Fig. 17) sería el componente fundamental en la generación de rendimiento de trigo ante cambios en el arreglo de siembra.

Los tratamientos con simple y doble cobertura de rastrojo no presentaron diferencias significativas en RTO ($P>0,05$; Tabla 3) en ambas campañas. Por otro lado, con riego se alcanzó un mayor rendimiento en ambos años de estudio ($P\leq 0,05$; Tabla 3) poniendo de manifiesto que en seco hubo deficiencia hídrica. Asimismo, en todos los tratamientos de trigo, el rendimiento del segundo año fue más bajo que en el primero, tanto en riego como en seco y esto puede ser explicado por las menores precipitaciones iniciales de recarga de perfil y durante el ciclo del cultivo en el segundo año (ver sección

4.1.1). Abbate y Cantarero (2001) calcularon que en Balcarce las lluvias previas al cultivo (entre marzo y agosto) son suficientes para recargar el agua útil del suelo en el 95% de los años, sin embargo, en Río Cuarto las lluvias durante el barbecho de trigo no alcanzan a satisfacer la demanda inicial del cultivo en el 58% de los años. Milisich et al. (2006) manifiesta que en Paraná las buenas lluvias otoñales que permitan una recarga del perfil del suelo, es una de las condiciones necesarias para obtener altos rendimientos en trigo. Gvozdenovich et al. (2010), en Entre Ríos, expresó que siendo los meses invernales donde se registran los menores valores históricos de precipitación, la recarga del perfil por las lluvias de fin de verano y las otoñales son esenciales.

En ambos años el PG fue altamente estable entre tratamientos (máxima diferencia 6%), por lo cual es de suponer que todos los tratamientos estuvieron limitados por el número de destinos (granos) más que por la fuente para su llenado. En consecuencia, el RTO estuvo claramente asociado con el NG a través de los tratamientos y años estudiados (Fig. 5). A su vez, en coincidencia con los resultados repostados por Abbate et al. (1997), el NG se asoció positivamente con la TCC previa al inicio del llenado del grano.

Hasta el momento no existía información de intersembra de sorgo en trigo para Argentina en una zona semiárida. Al incluir el cultivo de sorgo en los tratamientos, se pudo observar que su ventaja estuvo fuertemente condicionada con la presencia o no de lluvias en el periodo del cultivo más allá del agua acumulada en el barbecho (diferencia promedio entre campañas 81%, Tabla 3). De hecho, en la campaña más seca (2008/09) la caída de rendimiento del sorgo intersembrado respecto del normal fue mayor que en la campaña más húmeda (35% vs. 7%). De manera semejante Abdulhamid et al. (2001) concluye para Ganjuwa (estado de Bauchi, Nigeria), que los parámetros relacionados con la precipitación durante la etapa de crecimiento y floración del cultivo sorgo son los factores climáticos más críticos que afectan el rendimiento.

Yared Assefa et al. (2010) publicó en una revisión de más de 70 informes, que el sorgo tolera y evita la sequía más que muchos otros cultivos de cereales, pero la respuesta a la sequía no viene sin una pérdida de rendimiento. El estrés hídrico en estado vegetativo por sí solo puede reducir el rendimiento de más del 36% y la escasez de agua en la etapa reproductiva puede reducir el rendimiento de más del 55%. Estos datos son más que elocuentes para entender que el cultivo de sorgo puro o intersembrado puede ser una

alternativa muy adecuada para Manfredi ya que la frecuencia de deficiencias de agua es baja (ver sección 4.1.2).

Si bien con el aumento del espaciamiento se redujo el RTO de trigo, el mayor espaciamiento permitió la siembra de sorgo intersembrado aumentando el RTO del sistema entre 47 y 86% según el año. Desde el punto de vista del RTO, el sistema trigo con intersembrado de sorgo puede funcionar mejor en años con un perfil recargado a la siembra de trigo y lluvias normales durante la estación primavera-estival. Por otra parte, el EUT no difirió entre años, el valor promedio (1.37) resultó estadísticamente significativo similar al promedio reportado por Caviglia (2005) para sistemas de trigo-soja en Balcarce. Los valores obtenidos en este trabajo indican que el sistema de sorgo intersembrado en trigo sería ventajoso respecto de realizar ambos cultivos separadamente.

4.3. Peso seco del cultivo y producción de rastrojo

Dada la estabilidad en el IC, la producción del PST y del PSR tuvieron un comportamiento similar al del RTO del cultivo (Ec. [12] y Ec. [13]), i.e. el PSR del cultivo presentó una disminución estadísticamente significativa ($P \leq 0,05$; Tabla 5) a medida que aumentó el espaciamiento. Esto no se vio para los tratamientos de simple y doble rastrojo, donde no se presentó diferencia estadística significativa en el aporte generado por el cultivo trigo ($P > 0,05$; Tabla 5). Por el contrario Amjad y Wal (2003) encontraron un aumento en el PSR al espaciar los surcos de 18 cm a 36 cm.

Desde el punto de vista de la producción de rastrojo, la intersembrado de sorgo superó a todos los tratamientos de trigo puro (Tabla 5).

4.4. Margen Bruto

La técnica de intersembrado implica el empleo de dos cultivos en un lote dado, con cierto periodo de superposición en sus ciclos de crecimiento (Moreno Ramos et al. 1997).

Los intentos de usar la intersembrado en el noroeste de México comenzaron en 1979; abarcando varias combinaciones con trigo, incluso trigo-sorgo (Moreno Ramos et al. 1997). Sin embargo, en Argentina no se desarrolló aun ese sistema, dada la amplia difusión de soja como cultivo de verano. No obstante, en una zona semiárida sistema trigo-sorgo podría ser el más adecuado. En este estudio, al comparar los tratamientos de

trigo puro, se pudo observar que en ambas campañas hubo una diferencia significativa en el margen bruto a favor del menor espaciamiento (17 cm) (Tabla 6), esta diferencia fue notable tanto en secano como bajo riego. Con respecto al tratamiento de cobertura de rastrojo, no hubo diferencias estadística significativas ($P>0,05$; Tabla 6) en ninguna de las dos campañas. A pesar que el riego causo incrementos significativos de RTO, no brindó beneficios significativos en el margen bruto por incluir mayores costos. Como podemos ver el aumento del RTO logrado en cada tratamiento no asegura un aumento en el margen bruto alcanzado. Buck et al. (2006) destacó que las pérdidas de rendimiento con espaciamientos anchos, 25 vs. 50 cm, afectarían la rentabilidad agrícola más en aquellos lugares donde el trigo tiene rendimientos más altos; lo mismo se desprende de la Fig. 23. Beuerlein (2001) señaló que la ventaja del aumento del espaciamiento y manteniendo la densidad por metro lineal de surco, es bajar significativamente los costos de semilla.

Como se puede observar en la Tabla 6 y Fig. 21 el sorgo presentó un margen bruto promedio 63% superior a la mejor opción de trigo (trigo espaciado a 17 cm). Sin embargo, este trabajo reveló que al espaciar el trigo e incluir en el sistema al sorgo, permitió lograr un incremento promedio del margen bruto de 0,5% más que el sorgo sembrado sobre barbecho. Trabajos similares se realizaron en el INIFAP México (Moreno Ramos et al. 1997), donde el sistema trigo-sorgo resultó el más estable. El EUT mayor a 1 encontrado en este estudio también indica que la intersembra de sorgo en trigo es un sistema más ventajoso que la realización de ambos cultivos separadamente. Sin embargo, el margen bruto permite alcanzar una conclusión más segura ya que, el EUT no tiene en cuenta que las diferencias en el precio de los granos y en el costo de producción de cada uno de los cultivos. Otro problema inherente al EUT es que no permite una comparación sencilla entre el sistema intersembrado y uno solo de los cultivos (p.ej. trigo vs. trigo-sorgo), lo cual forma parte de los objetivos de esta tesis.

El trabajo realizado ofrece información inédita a cerca de los márgenes brutos que se pueden lograr en un sistema de intersembra trigo-sorgo en Manfredi, Córdoba. El margen bruto de las dos campañas estudiadas, indican que el sistema trigo-sorgo es superior al de trigo puro o sorgo puro (Fig. 21). Además, el sistema de doble cultivo implica dos momentos de ingresos, lo cual es favorable. Por otra parte, el análisis de la frecuencia de precipitaciones de Manfredi (sección 4.1) indica que el sistema trigo-sorgo tiene alta frecuencia de éxito y desde el punto de vista de producción de rastrojo el sistema trigo-sorgo resultó ventajoso.

4.5. Economía del agua

Si bien, tal como era de esperarse, el espaciamiento favoreció el crecimiento individual del cultivo por unidad longitudinal de surco (Fig. 2), cabe preguntarse ¿por qué disminuyó el PST del cultivo a madurez por unidad de superficie al aumentar el espaciamiento (Tabla 5)? Para responder la pregunta desde el punto de vista del agua se parte de la siguiente clásica expresión (de Wit, 1958):

$$PST = EUA_c \cdot C \quad \text{Ec. [14]}$$

según la cual la caída en PST puede deberse a una reducción en el C o en la EUA_c .

En la campaña 2008/09, el C no cambió con el espaciamiento (Fig. 8), por lo cual el menor PST tuvo que deberse a la reducción de la EUA_c . La EUA_c puede analizarse como:

$$EUA_c = EUA_t \cdot T/C \quad \text{Ec. [15]}$$

donde C se puede expresar como la suma de la cantidad de agua transpirada (T, mm) más el agua evaporada (E, mm):

$$C = T + E \quad \text{Ec. [16]}$$

La E se mantuvo constante a través de los tratamientos de secano (Fig. 10) por lo cual los cambios en E no pueden explicar cambios en T/C ni EUA_c en secano. Entonces, en 2008/09 los cambios en EUA_c debieron originarse en cambios en EUA_t . Cabe preguntarse ¿por qué cayó EUA_t con el espaciamiento? Resulta esperable que al aumentar el espaciamiento de los surcos se reduzca el estrés hídrico. Esta reducción se puso de manifiesto por la menor respuesta del PST al riego con espaciamiento de 70 cm que con 17 cm de ambos años (Tabla 5). Según Abbate et al. (2004), al reducirse el estrés hídrico es de esperar una caída en la EUA_t . Por otra parte, Blackwell et al. (2006) encontró que con estrés hídrico en entresurcos más angostos los valores de temperatura de canopia fueron más elevados, lo cual contribuiría con la caída de la EUA_t al aumentar el espaciamiento. De hecho se encontró una buena asociación entre el PST y la EUA (Fig. 13). Si bien en ambos años los cambios en EUA_t fueron importantes y contribuyeron a explicar las variaciones de PST, en el año 2009/10 también hubo una disminución de C con el espaciamiento (Fig. 8) generando un efecto negativo en la producción de PST (Tabla 5). ¿A qué se debió la caída en C en el 2009/10? En ese año hubo una reducción de C en el entresurco de 29 mm (Fig. 9) que puede explicar la mayor parte de la reducción de C al aumentar el espaciamiento de 17 a 70 cm (39 mm, quedando 10 mm sin

explicación). Estos resultados son coherentes con el mayor contenido de humedad encontrado por Blackwell et al. (2006) en cultivo de trigo con entresurcos más anchos, en suelos poco profundos en periodos de sequía. Pero ¿por qué no se consumió el agua del entresurco? parecería ser que eso se debió a que el cultivo no fue capaz de captarla, de la misma manera que la intercepción de RFA se redujo con el espaciamiento.

Dado que al aumentar el espaciamiento del cultivo de trigo en secano (i) no se encontró aumento en el PST ni el RTO, (ii) disminuyó la EUA_c , (iii) el C tendió a caer en la campaña 2008/09 y cayó significativamente en la campaña 2009/10 quedando agua remanente en el entresurco que el cultivo no aprovechó, no hay evidencia que permita suponer que haya habido una transferencia de agua de etapas tempranas hacia etapas reproductivas con efectos favorables. Cuando la transferencia ocurrió (campaña 2009/10) el agua quedó en el entre surco sin ser consumida hasta el final del ciclo del cultivo.

Por otra parte se ha indicado que al aumentar la cobertura de rastrojo se reduce significativamente la evaporación de humedad del suelo (Unger et al. 1991), y puede contribuir a mejorar la EUA_c de los cultivos cultivados en surcos espaciados. Sin embargo, con los datos obtenidos en este trabajo no se corroboró la ventaja de la doble cobertura ni en reducir E (Fig. 10) ni en aumentar EUA_c (Fig. 12). Por el contrario, se encontró una leve tendencia a evaporar más en espaciamientos más amplios (Fig. 10).

Otros autores encontraron que los efectos de la distancia en entre surcos sobre la pérdida por E es variable. French y Schultz (1984) estimaron que durante la estación de crecimiento en el sur de Australia la menor cantidad de agua perdida por E fue de 110 mm. Van Herwaarden y Passioura (2001) encontraron que para canopias de trigo de diferente tamaño en el sur de Nueva Gales del Sur, la E fue linealmente relacionada con la fracción de suelo sombreada en anthesis, con E decreciendo 1,4 mm por cada por ciento adicional de área sombreada del suelo. Eberbach y Pala (2005) encontraron en Siria, que con aumento de la distancia entre líneas de trigo de 17 a 30 cm hubo un incremento de la evaporación de 183 a 205 mm. Yunusa et al. (1993) encontraron que en distancias entre líneas de 9, 18, 27 y 36 cm no hubo ningún efecto sobre la E desde la superficie del suelo en cultivo de trigo con evaporaciones promedio de 88 mm en dos experimentos en ambientes de baja precipitaciones (WA). Pero esta información no es suficiente para tener idea a cerca de los efectos que puedan llegar a causar la cantidad de rastrojos del suelo sobre la evaporación del mismo. Los resultados encontrados en este trabajo podrían

deberse a que en Manfredi predominó el suelo seco superficialmente la mayor parte del ciclo del cultivo resultando una baja E sea cual fuere el nivel de rastrojo.

Numerosos escritos hablan de la alta EUA que posee el cultivo de sorgo (p.ej. Farre y Faci, 2006) y es por esta misma razón que fue elegido para formar parte de este estudio en reemplazo de soja o maíz. En este trabajo se observó que la EUA_c del sorgo fue mayor a la de trigo en dos campañas hídricamente contrastantes (Fig. 14) El sorgo fue capaz de hacer un uso eficiente del agua cuando las precipitaciones escasearon en el periodo del cultivo (campaña 2008/09, 4.1.2), pero sin dudas en dicha campaña el tratamiento de intersembra deprimió sus rendimientos. Cuando el año presentó precipitaciones normales o superiores (campaña 2009/10, 4.1.2), el tratamiento barbecho presentó EUA solo un 3% superior al tratamiento de intersembra de la misma campaña.

4.6. Economía de la radiación

En la sección 4.5 se formuló la pregunta: ¿por qué disminuyó el PST del cultivo a madurez por unidad de superficie al aumentar el espaciamiento (Tabla 5)? Para responder la pregunta desde el punto de vista de la radiación se parte de la clásica expresión propuesta por Monteith (1972):

$$PST = EUR \cdot RFA_i \quad \text{Ec. [17]}$$

según la cual la caída en PST puede deberse a una reducción en la RFA_i o en la EUR.

Es sabido según autores diversos que las deficiencias hídricas reducen la interceptación de radiación solar (Gallagher y Biscoe, 1978; Robertson y Giunta, 1994) a través de una menor expansión foliar, una menor exposición de la superficie foliar (i.e.: enrulamiento de las hojas), o por senescencia de hojas. Además, un estrés hídrico puede reducir el crecimiento del cultivo como consecuencia de una menor tasa de fotosíntesis (Subrahmanyam *et al.*, 2006) y una menor eficiencia en el uso de la radiación (Gallagher y Biscoe, 1978; Robertson y Giunta, 1994; Abbate *et al.*, 1997). Según Caviglia y Sadras (2001), en condiciones de secano, las diferencias encontradas en la EUA fueron explicadas en un 60% por las variaciones en la eficiencia del uso de la radiación (EUR). Se desprende entonces que cambios en la disponibilidad hídrica pueden afectar la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), y en consecuencia, la acumulación del peso seco (PST).

En la sección 3.7 se puso en evidencia que las diferencias entre tratamientos se debieron principalmente a su efecto sobre la RFA_i (Fig. 17) a través de las variaciones en el IAV (Fig. 16). La caída en la RFA_i podría explicar la caída en el PST producido al aumentar el espaciamiento, pese al aumento de PST por unidad longitudinal de surco. Es fácil visualizar que al separar los surcos es esperable que el solapamiento entre surcos se reduzca (lo cual implica una reducción en la RFA_i) pese a que el crecimiento por surco se incremente. No obstante, los datos obtenidos (Fig. 18) indicaron que el PST no solo se asoció con la RFA_i , sino también con EUR, y esta decreció al aumentar el espaciamiento. ¿A qué pudo deberse este comportamiento? Este factor puede ser explicado debido a que en los monocultivos de alta densidad, el “síndrome de la sombra” (Martínez García, 2002; Cifuentes Esquivel, 2012) frena la producción de hojas, frutos y semillas; la cercanía de las plantas en los monocultivos provoca una disminución en la relación entre luz roja y roja lejana percibida a través de los fitocromos fotoestables (B, C, D y E). Esta señal induce el síndrome que, entre otros efectos, estimula el alargamiento de los tallos en detrimento del desarrollo de las hojas. Estos fitocromos se encuentran más en plantas jóvenes, pero sería una posible explicación de la caída de EUR al aumentar el espaciamiento y con ellos la densidad por surco. Otra posibilidad es que en surcos densos sometidos a sequía, y por lo tanto de bajo IAV, se produzca saturación lumínica del área verde; la Fig. 20 apoya esta última hipótesis.

5. CONCLUSIONES

5.1. Aportes logrados

Con el estudio realizado se pudo comprobar que con mayores espaciamientos entre líneas se puede lograr la reducción del consumo de agua (estadísticamente significativa en la segunda campaña 2009/10). Sin embargo, se encontró que parte del agua transferida quedó como remanente sin ser consumida hasta el final del ciclo de trigo. En consecuencia, se rechaza la hipótesis 1 según la cual el mayor espaciamiento permite transferir agua hacia etapas más tardías del cultivo de trigo.

Con el aumento del espaciamiento no se logró aumentar el rendimiento cuando el agua fue limitante, por el contrario, el rendimiento se redujo. A partir de datos propios y de la bibliografía se pudo construir una relación entre la caída de rendimiento al aumentar el espaciamiento y el rendimiento del cultivo con espaciamiento de referencia. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis 2.

Se demostró que la intersembra de sorgo en trigo espaciado permitió aumentar la producción de granos y su margen bruto, respecto del cultivo de trigo puro. Por lo cual, se acepta la hipótesis 3. Asimismo, la intersembra de sorgo en trigo permitió aumentar la producción de biomasa y el aporte de rastrojo, en consecuencia se acepta la hipótesis 4.

A partir del análisis de frecuencia de precipitaciones se pudo calcular que la intersembra de sorgo en trigo es factible en la mayoría de los años, por lo tanto se acepta la hipótesis 5.

Al momento de realizar esta tesis no existían estudios tan amplios sobre espaciamiento de trigo que incluyan el efecto de la cobertura del rastrojo en siembra directa. Tampoco existían trabajos que incluyeran la intersembra de sorgo en trigo en sistemas con poca disponibilidad de agua. El abordaje del estudio desde el punto de vista del rendimiento y su generación, la producción de rastrojo y el margen bruto, también es inédita. Con este estudio, también se pudo establecer (1) una relación general entre el rendimiento y la respuesta al espaciamiento, (2) cuales son las variaciones en el consumo de agua y su eficiencia, generadas con el espaciamiento entre surcos y la intersembra de sorgo y (3) cuales son las variaciones en la radiación interceptada y su eficiencia, generadas con el espaciamiento entre surcos y la intersembra de sorgo.

5.2. Lineamientos a futuro

A partir de los resultados obtenidos se puede establecer que el cultivo trigo puede en espaciamientos amplios ser un buen antecesor del cultivo sorgo persiguiendo los objetivos bien planteados en este trabajo. Con lo cual, para su utilización en la rotación en lotes con problemas de sales podría ser una muy buena opción a probar debido a la mejor respuesta de estos cultivos a esos ambiente logrando una producción aceptable, generando a su vez un buen aporte de carbono al sistema.

En futuros ensayos se debería evaluar un espaciamiento menor al mayor evaluado, como ser 52 cm entre líneas, probando así de esta manera el comportamiento del cultivo trigo en la región semiárida de la pampa húmeda, cuestión que permitiría intersembrar sorgo en fecha óptima de siembra obteniendo probablemente mejores resultados a los encontrados en este estudio.

Otro tema ligado sería evaluar la siembra tardía del sorgo luego de la cosecha del trigo. Este sistema aprovecharía el mayor rendimiento de trigo en siembras estrecha (17 cm), y la habilidad del sorgo para aprovechar el agua cuando esta es limitante, aumentando el margen bruto del sistema.

Además, es necesario profundizar la investigación de la dinámica de las raíces del cultivo de trigo y avanzar en el mejoramiento de cultivares más eficientes en el uso de agua que permitan incrementar los rendimientos con el agua disponible en el perfil de suelo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbate P.E. y Cantarero M.G. 2001. Efectos del estrés hídrico en trigo. 5° Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba, 2 pp.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H. y Culot, J.P. 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J. Agric. Sci., Camb.*, 124, 351-360.
- Abbate, P.E., Andrade, F.H., Culot, J.P. y Bindraban, P.S. 1997. Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Res.*, 54, 245-257.
- Abbate, P. E., Dardanelli, J. L., Cantarero, M. G., Maturano, M., Melchiori, R. J. M. y Suero E. E. 2004. Climatic and Water Availability Effects on Water-Use Efficiency in Wheat. *Crop Sci.* 44:474-483
- Abdulhamid, A. I., Friday Ojonigu, A. and Adebayo A. A. 2001. Effect of Climate on the Growth and Yield of Sorghum (*Sorghum bicolor*) in Wailo, Ganjuwa Local Government Area, Bauchi State. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 3(5): 469-472, 2011
- Agromercado, 2010. Cuadernillo temático. Síntesis Económica. 298, 27pp
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. y Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Alvarez, R y Steinback, S. H. 2010. Balance de carbono en agrosistemas. En: Fertilidad de suelos, caracterización y manejo en la región pampeana. Cap 4. UBA.
- Alvarez Prado, A. F. 2009 Optimización del arreglo de surcos en intersembra trigo-soja en el sudeste bonaerense. Tesis de Maetria.
- Amjad, M and Wal, A. 2003. Variety interactions with wheat row spacing and seeding rate. The Australian Society of Agronomy.
- Assefa, Y., Staggenborg, SA, y Prasad, VPV 2010. Grain requisito sorgo agua y las respuestas a la sequía: una revisión. Online. Manejo del cultivo., doi: 10.1094/cm-2010-1109-01-rv.
- Beuerlein J. 2001. Effect of row spacing on wheat yield. Extension FactSheet. AGF-152-02.

- Blackwell P, Porrier S and Bowden B (2006) Response to winter drought by wheat on shallow soil with low seeding rate and wide row spacing. *Agribusiness Crop Updates*, Perth February 2006, *Farming Systems Updates* pp 57-61.
- Buck S, Collins R, Ried D y Soackman G (2006) Row spacing impacts on dryland wheat yields in central Queensland. Australian Society of Agronomy. *Proceedings of the Australian Agronomy Conference*.
- Cantarero, M.; Dardanelli, J y Badiali, O. 1998. Factores ambientales que determinan el rendimiento potencial en trigo. *Riego y Agricultura de Precisión*. INTA Manfredi, pp: 16-26.
- Caviglia, O.P. y Sadras, V.O. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water and radiation use efficiency of wheat. *Field Crops Res.* 69:259-266.
- Ciampitti, I. A.; Rubio G.; Piconne L. E. y García F. O. 2009. El fósforo en la agricultura. *Mejores Prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de los cultivos*. Simposio Fertilidad 2009. IPNI Fertilizar. 35-57 pp.
- Cifuentes Esquivel, N. 2012. Análisis de la interconexión entre rutas transcripcionales hormonales y del síndrome de huida de la sombra de *Arabidopsis*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 214 pp.
- Coscia, A. 1976. *Economía Agraria*. 1ª Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. 270 pp.
- Dardanelli, J.L., A.C. De la Casa, M.R. Ateca, R. Zanvetor, F. Nuñez Vazquez, y H.P. Salas. 1992. Validación del balance hidrológico versátil para la sucesión sorgo-soja bajo dos sistemas de labranza. *Rev. Agr. Manfredi y Marcos Juárez (Argentina)* 7:20-29.
- Dardanelli, J.L.; O.A. Bachmeier; H.P. Salas; E.E. Lovera y F. Nuñez Vázquez 1994. Evaporación en un haplustol éntico bajo dos sistemas de labranza. *Ciencia del suelo* 12:17-21.
- Darwinkel, A. 1978. Patterns of tillering and grain production of winter wheat at a wide range of plant densities. *Neth. J. Agric. Sci.*, 26, 383-398.

- de Wit C.T. 1958. Transpiration and crop yields. Versl. Landbouwk. Onderz. 64.6
Institute of Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage,
Wageningen, The Netherlands, 88 pp.
- Donald, C.M. y Hamblin, J. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as
agronomic and plant breeding criteria. *Adv. in Agrom.*, 28, 381-405.
- Doorenbos, J. & Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and
Drainage Paper No. 33*. Rome, FAO
- Eberbach P., Pala M. 2005. Crop row spacing and its influence on the partitioning of
evapotranspiration by winter-grown wheat in Northern Syria. *Plant and Soil*. 268,
195-208.
- Farré I., Faci J. M., 2006. Comparative response of maize (*Zea Mays*, L.) and sorghum
(*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment.
Unidad de suelos y riegos, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria
de Aragón. Zaragoza, España.
- Fischer, R.A., Aguilar, I., Maurer, R. Y Rivas, S. 1976. Density and row spacing effects
on irrigated short wheat at low latitude. *Journal of Agricultural Science*,
Cambridge. 87, 137-147. 52.
- Fisher, R.A. 1984. Growth and yield of wheat. *Proc. Symp. on Potential productivity of
field crops under different environments*. IRRI. Los Baños. pp 129-154.
- Fisher, R.A. 1985. Number kernels in wheat crop and the influence of solar radiation and
temperature. *J Agric. Sci. Cambridge*. 105:447-461.
- French RJ and Harries M (2006). A role for wide rows in lupin cultivation in Western
Australia. *Proceedings of the 13th Australian Agronomy Conference*, Perth.
Australian Society of Agronomy.
- French RJ, Schultz JE (1984) Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type
environment. I. The relationship between yield, water use and climate. *Australian
Journal of Agricultural Research* 35, 743-764.
- Gallagher, J.N. and Biscoe, P.V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals.
Journal of Agricultural Science. Cambridge, 91, 47-60.

- Gorgas, J.A. y Tassile, J.L. 2003. Características fisiográficas. Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Los Suelos. Cap 2 pag 52-53.
- Gvozdenovich, J., Paparotti, O., & Barbagelata, P. 2010. Relación entre el agua almacenada a la siembra y el rendimiento del cultivo de trigo en diferentes suelos de la provincia de Entre Ríos. In XXII Congreso Argentino de la Ciencia del suelo.
- Kleemann, S. and Gurjeet Gill. 2008. Row spacing, water use, and yield of wheat (*Triticum aestivum*), barley (*Hordeum vulgare*) and faba bean (*Vicia faba*). Actas de la 14^a Conferencia de Agronomía de Australia.
- Martínez García, J. F. Monte, E y Ruiz Cantón, F. J. 2002. Fitocromos y desarrollo vegetal. Rev. Investigación y ciencia, N° 305. págs. 20-29.
- Michelena R.O., Irurtia C.B., Vavruska F., Mon R. y Pittaluga A. 1989 Degradación de los suelos de la región Pampeana. INTA, Proyecto de Agricultura Conservacionista. Publicación Técnica N° 6. Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino.
- Milisich H., Caviglia O. Y J. Saluso 2006. Relaciones entre el rendimiento de trigo y variables sanitarias y meteorológicas. Actualización técnica. Trigo y lino. INTA EEA Paraná. Serie Extensión N° 39:13 – 15.
- Moreno Ramos, O. H., Salazar Gomez, J. M., Carrillo Mendez, L. E., Cano Avila, J. Duarte Ramirez, J. J. Morales Cuen, A. y Sayre K.D. 1997. El relevo del trigo por sorgo: una estrategia para integrar actividades agrícolas y pecuarias. INIFAP Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui.
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. J. Appl. Ecol., 9, 747-766.
- Otegui, M. E. y López Pereira, M. 2003. Fecha de siembra. Producción de Granos. En: Producción de granos. Bases Funcionales para su Manejo Cap 12 pag. 260- 272. UBA.
- Puckridge, D.W. Y Donald, C.M. 1967. Competition among wheat plants sown at a wide range of densities. Australian Journal Agricultural Research., 18, 193-211.
- Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resour. Res. 8:1204-1212

- Robertson M.J. y Giunta F. 1994. Responses of spring wheat exposed to pre-anthesis water stress. *Aust. J. Agric. Res.*, 45, 19-35.
- Roos F. 2004. Tesis de grado., Universidad Nacional de Mar del Plata, Balcarce, Argentina.
- Salinas A., Lovera E., Martellotto E., Lingua S., Alvarez C., Giubergia J., Capuccino V., Molino J., Signorile O., Centeno A., y Cantarero M. 2007. Comportamiento de cultivares seleccionados por calidad y sanidad en diferentes ambientes de la provincia de Córdoba – Campaña 2006. Trigo 2007. Boletín de Divulgación Técnica N° I. EEA INTA Manfredi.
- Sarandón, S.J. y Chamarro, A. M. 2003. Policultivos en los sistemas de producción de granos. Producción de Granos. Bases Funcionales para su Manejo Cap 15 pag. 353- 372. UBA.
- Steel R.G.D. y Torrie J.H. 1980. Comparaciones múltiples. *En: Bioestadística. Principios y procedimientos.* McGraw-Hill. Méjico, 1989, 166-187.
- Studdert, G. 2001. Labranza Conservacionista. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Subrahmanyam, D., Subash, N., Haris, A. y Sikka A.K. 2006. Influence of water stress on leaf photosynthetic characteristics. *Photosynthetica* 44 (1): 125-129.
- Trenbath, B.R. 1976. Plant interactions in mixed crop communities. In: Papendick, R. I., Sanchez, P. A., Triplett, G. B. (Eds), *Multiple cropping.* ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 129-169.
- Unger P.W., Stewart B.A., Parr J.F., y Singh R.P. 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil & Tillage Research*, 20 - 219-240
- USDA Soil Taxonomy. 1999. Second Edition. A Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA - Soil Conservation Service Agricultural Handbook N° 436. U.S. Gov. Print. Office, Washington.
- Van Herwaarden AF, Passioura JB (2001) Improving estimates of water use efficiency in wheat. *Australian Grain* 11 (4), 3-5.

Yunusa IAM, Belford RK, Tennant D, Sedgley RH (1993) Row spacing fails to modify soil evaporation and grain yield in spring wheat in a dry Mediterranean environment. *Australian Journal of Agricultural Research*. 44: 4, 661-676.